

VŠB – Technická Univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

**Konstrukční návrh efektoru pro manipulaci s kartónovými
krabicemi**

**Engineering Design of the Effector for Handling
Cardboard Boxes**

Student:

Bc. Tereza Fabrigerová

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Milan Mihola, Ph.D.

Ostrava 2018

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tereza Fabrigerová**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2301T013 Robotika

Téma: **Konstrukční návrh efektoru pro manipulaci s kartónovými krabicemi**
Engineering Design of the Effector for Handling Cardboard Boxes

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte analýzu současného stavu řešené problematiky.
2. Na základě této analýzy navrhnete možné varianty řešení a proveďte jejich srovnání.
3. Vybranou variantu detailně rozpracujte.
4. Práci doplňte podrobnou technickou a výpočtovou dokumentací. Výkresovou dokumentaci vypracujte dle pokynů vedoucího práce.
5. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD a konstrukční řešení v CAD systému (dle pokynů vyučujícího).

Seznam doporučené odborné literatury:

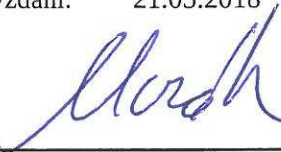
1. Kárník, L., Knoflíček, R., Marcinčin, J. N. *Mobilní roboty*. Opava: MÁRFY SLEZSKO, 2000. 210 s. ISBN 80-902746-2-5.
2. Talácko, J.-Matička, R. *Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů*. ČVUT, Praha, 1995. 236 s. ISBN 80-01-01291-3.
3. Kárník, L. *Robotizace v nestrojírenských oborech*. VŠB-TUO, Ostrava, 2000, 66 s. ISBN 80-7078-739-2.
4. ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
5. ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Milan Mihola, Ph.D.**

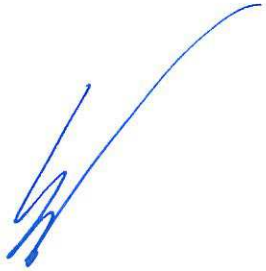
Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018



prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry





doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 16. 5. 2018

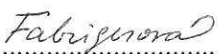
.....*Fabrigera*.....

Tereza Fabrigerová

Prohlašuji, že

- jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.
- byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было сдѣнано, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- было сдѣнано, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 16. 5. 2018


.....

Tereza Fabrigerová

9. května 1210

Příbor 74258

Poděkování

Ráda bych poděkovala Ing. Milanu Miholovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování diplomové práce věnoval. Mé poděkování patří taktéž rodině a přátelům za bezmeznou morální podporu a pochopení.

Anotace diplomové práce

FABRIGEROVÁ, T. *Konstrukční návrh efektoru pro manipulaci s kartónovými krabicemi*, Ostrava: Katedra robotiky, Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2018, 77 s. Vedoucí diplomové práce: Ing. Milan Mihola, Ph.D.

Cílem této práce je konstrukční návrh efektoru a výběr robotu pro vykládání kartónových krabic z kontejneru. První část práce je věnována analýze současného stavu krabic a kontejnerů, analýze pracoviště a časových podmínek pro vykládání. Součástí práce je rešerše aktuálního využití systémů pro vykládání kontejnerů na trhu. V druhé části práce byly navrženy konstrukční varianty efektoru. Na základě vybrané optimální varianty pomocí funkční analýzy byl vybrán vhodný robot. Po následném rozpracování varianty, která nejlépe splňovala kritéria analýzy, byly vybrané prvky simulovány v programu Creo Parametric a Ansys. V závěru práce bylo navrženo zjednodušené pracoviště. Práce obsahuje 3D model rozpracované varianty navržené v programu Creo Parametric a výkresovou dokumentaci vybraných částí.

Annotation of diploma thesis

FABRIGEROVÁ, T. *Engineering Design of the Effector for Handling Cardboard Boxes*, Ostrava: Department of Robotics, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB – Technical university of Ostrava, 2018, 77 p. Thesis supervisor: Ing. Milan Mihola, Ph.D.

The goal of this diploma thesis is to provide construction design of effector and robot selection for cardboard boxes unloading of containers. The first part is dealing with current boxes and containers state analysis, workplace analysis, and time conditions analysis. Literature analysis of recent solutions for automated container unloading is also included in this paper. The second part is focused on designing effector construction. Based on functional analysis of possible effectors a suitable robot was chosen. All chosen components were simulated in Creo Parametric and Ansys. Simplified workspace was designed in the final part of the thesis. The paper contains 3D model of suitable option designed in Crea Parametric and design documentation of selected parts.

Obsah

Úvod.....	11
1. Zadání a popis současného stavu.....	12
1.1. Rozbor zadání.....	14
1.2. Předběžný návrh pracoviště a časový rozbor.....	15
2. Rešerše.....	19
2.1. RTU spol. Wynright.....	19
2.2. Robot PR400 spol. Thyssenkrupp.....	20
2.3. Robot PR500 spol. Thyssenkrupp.....	22
2.4. Zařízení C1 spol. Copal.....	23
2.5. Koncept TEUN – PIQR +PAQR.....	25
3. Požadavkový list.....	26
4. Navržené varianty efektoru.....	27
4.1. Varianta A.....	27
4.1.1. Návrh konstrukce efektoru.....	27
4.1.2. Popis odebrání krabic efektozem.....	30
4.2. Varianta B.....	32
4.2.1. Návrh konstrukce efektoru.....	32
4.2.2. Popis odebrání krabic efektozem.....	36
4.3. Varianta C.....	37
4.3.1. Návrh konstrukce efektoru.....	37
4.3.2. Popis odebrání krabic efektozem.....	41
5. Funkční analýza.....	42
5.1. Určení významnosti kritérií.....	43
5.2. Hodnocení navržených variant.....	45
6. Výběr robotu.....	48

6.1.	Kawasaki RS080N	48
6.2.	Robot Yaskawa MOTOMAN MH80II	49
6.3.	Robot Fanuc-M-710iC/70	50
6.4.	Srovnání	51
7.	Rozpracování optimální varianty efektoru	52
7.1.	Návrh vakuových přísavek.....	54
7.2.	Rám efektoru a návrh pohonu	57
7.3.	Návrh svěrného spoje a hřídele	63
8.	Simulace vybraného prvku	66
8.1.	Průhyb nosníku se svěrným spojem.....	66
8.2.	Simulace zatížení hřídele s návarky	68
9.	Návrh pracoviště	71
10.	Závěr	72
11.	Seznam použité literatury	73
12.	Přílohy.....	77

Seznam použitého značení

Značka	Význam	Jednotky
a	zrychlení	$[\text{m/s}^2]$
d_{kont}	délka kontejneru	$[\text{mm}]$
d_{krab}	délka krabice	$[\text{mm}]$
F_{hs}	přidrčná síla pro svislé přísavky	$[\text{N}]$
$F_{\text{hs}1}$	přidrčná síla pro 1 přísavku svisle	$[\text{N}]$
F_{hv}	přidrčná síla vodorovných přísavek	$[\text{N}]$
$F_{\text{hv}1}$	přidrčná síla pro 1 přísavku vodorovnou	$[\text{N}]$
F_{kr}	síla vycházející z hmotnosti krabice	$[\text{N}]$
$F_{\text{kr}1}$	síla vycházející z hmotnosti krabice na jednu přísavku	$[\text{N}]$
g	gravitační konstanta	$[\text{m/s}^2]$
k	směrnice přímky	-
K	koeficient bezpečnosti	-
m_k	hmotnost krabice	$[\text{kg}]$
n	otáčky za minutu	$[\text{ot/min}]$
Re	mez kluzu	$[\text{MPa}]$
Rm	mez pevnosti	$[\text{MPa}]$
S	koeficient bezpečnosti	-
\bar{s}_{krab}	šířka kontejneru	$[\text{mm}]$
t_{ckon}	celkový čas pro vyložení kontejneru	$[\text{s}]$
t_{ckr}	celkový čas pro odebrání jedné krabice	$[\text{s}]$
v	počet voleb	-
μ	koeficient tření	-
σ_c	mez únavy materiálu, jednotka MPa	$[\text{MPa}]$

Úvod

Robotizovaná pracoviště zaujímají stále větší podíl ve firmách a na pracovištích. Nacházejí využití téměř ve všech oblastech a nahrazují tak fyzicky náročnou a opakující se práci. Roboti nacházejí využití například v oblastech manipulace s těžkými předměty, v prostředí pro lidi nevhodném či přímo nebezpečném, nebo kvůli zvýšení produkce zvýšením taktu výroby. I přes obavy nedostatku pracovních příležitostí pro lidi však stále vznikají nové oblasti, kde tito lidé najdou uplatnění.

Tématem práce je systém pro vykládání krabic z kontejneru. To je v současné době realizováno obsluhou. Práce je namáhavá vzhledem k hmotnosti a množství krabic v kontejneru. S přihlédnutím k tomu, že kontejnery jsou vykládané po celý rok a za každého počasí, letní vedra či zimní mrazy nevytváří pro obsluhu vhodné pracovní prostředí. Jedním z řešení této situace je návrh robotu s efektozem pro vykládání krabic z kontejneru.

Cílem této práce je výběr vhodného robota a návržení efektoru pro danou činnost. Při samotném návrhu efektoru je třeba brát ohled na variabilitu uložení krabic v kontejneru a jejich proměnlivou hmotnost. Dále je třeba zohlednit, že kontejnery jsou dováženy od různých společností přes oceán, tedy nelze počítat se stejnými vstupními podmínkami. Krabice mohou být navíc v průběhu cesty deformovány. V následujících kapitolách budou tyto podmínky podrobně rozebrány a analyzovány.

1. Zadání a popis současného stavu

Zadáním této diplomové práce je konstrukční návrh efektoru pro manipulaci s kartónovými krabicemi firmy Adler. Kartónové krabice firmy Adler jsou naplněny textilním zbožím, buď z části, nebo úplně. Maximální hmotnost krabice je 35 kg s ohledem na její naplněnost. Krabice budou po odebrání uloženy na dopravníkový pás a poté na plastové europalety o rozměrech 1200 x 800 mm. Další parametry krabice jsou uvedeny v tabulce č. 1.

Krabice	Rozměr krabice	400 x 420 x 600 mm
	Max. hmotnost krabice	35 kg
	Materiál krabice	Kartonový papír
	Uložení krabic v kontejneru	Variabilní
Max. doba vykládky plného kontejneru		6 h
Max. takt robotu		4 kontejnery / 12 h

Tabulka 1: Parametry krabice

Krabice jsou uloženy v kontejneru v ideálním případě v 6 řadách po pěti krabicích. Krabice v nejvyšší řadě jsou vzdáleny cca 10 cm od stropu kontejneru. Na obrázku č. 1 níže je zobrazen jeden z možných způsobů uložení krabic v kontejneru.



Obrázek 1: Uložení krabic v kontejneru

Vzhledem k naplněnosti krabic se může stát, že se méně naplněné krabice v nižších řadách propadnou pod vahou dalších krabic. V důsledku toho krabice nemusí být naskládány vedle sebe po řadách či pod sebou v sloupcích. Mezi krabicemi mohou vzniknout mezery. Dále kontejner nemusí být zcela zaplněn. Z důvodu vyvážení kontejneru mohou být krabice koncentrovány na krajích kontejneru a jeho střed může být naplněn jen z poloviny. Krabice jsou ukládány do kontejnerů různých velikostí. Konkrétní parametry kontejnerů jsou uvedeny níže v tabulce č. 2.

Vnější rozměry	Délka	6,096	12,192	12,190	13,716	[m]
	Šířka	2,438	2,438	2,438	2,438	[m]
	Výška	2,591	2,591	2,896	2,896	[m]
Vnitřní rozměry	Délka	5,785	12,032	12,000	13,556	[m]
	Šířka	2,352	2,352	2,311	2,352	[m]
	Výška	2,385	2,385	2,650	2,698	[m]
Rozměry dveří	Šířka	2,343	2,343	2,280	2,343	[m]
	Výška	2,280	2,280	2,560	2,585	[m]
Objem		33,100	67,500	75,300	86,100	[m ³]
Maximální hmotnost brutto		30 400	30 400	30 848	30 400	[kg]
Hmotnost prázdného kontejneru		2 200	3 800	3 900	4 800	[kg]
Ložnost		28 200	26 600	26 580	25 600	[kg]

Tabulka 2: Parametry kontejnerů

V současnosti jsou krabice vykládány manuálně. Kontejner je vyložen třemi osobami přibližně za dobu jedné hodiny. Práce je pro obsluhu fyzicky náročná a stereotypní. Pracovní prostředí obsluhy je navíc ztíženo počasím podle ročního období.

Vykládání kartonových krabic z kontejneru bude realizováno pomocí robotu, který bude krabice přemisťovat na dopravníkový pás. Na robotu bude spolu s efektem umístěno zařízení se snímači pro skenování krabic. Úkolem těchto snímačů bude rozpoznání tvaru krabice a její deformace, popř. kontrola zabalení krabice lepicí páskou. Výběr robotu bude proveden až po konstrukčních návrzích efektoru, kdy bude zřejmá orientační hmotnost efektoru. Hmotnost efektoru a počet odebíraných krabic je nezbytná pro určení nosnosti robotu.

1.1. Rozbor zadání

Jedním z předpokladů pro konstrukční návrh variant efektoru je určení množství současně odebíraných krabic. Robot bude umístěn na pásovém pojezdu, na kterém bude zajiždět do kontejneru při vykládání. Podlaha kontejneru je tvořena OSB deskami, které nelze výrazně zatížit. S ohledem na nosnost pojezdu i podlahy je nutné analyzovat přibližně možnou hmotnost robotu, která je pro celé zařízení zásadní. Teoretický odhad hmotnosti navrženého efektoru pro jednu krabici je 40 kg. Minimální požadovaná nosnost robotu dle počtu krabic je uvedena v tabulce č. 3.

Počet krabic	Hmotnost efektoru	Hmotnost krabic/-e	Celková hmotnost
1 krabice	40 kg	35 kg	75 kg
2 krabice	80 kg	70 kg	150 kg
3 krabice	120 kg	105 kg	225 kg

Tabulka 3: Rozbor možné nosnosti robotu

Na základě odhadu požadované nosnosti robotu byly vybrány typy robotu dle jejich nosnosti. Vybrané roboty a jejich parametry jsou uvedeny v tabulce č. 4. Pro srovnání rozměrů byl použit kontejner s nejmenší výškou.

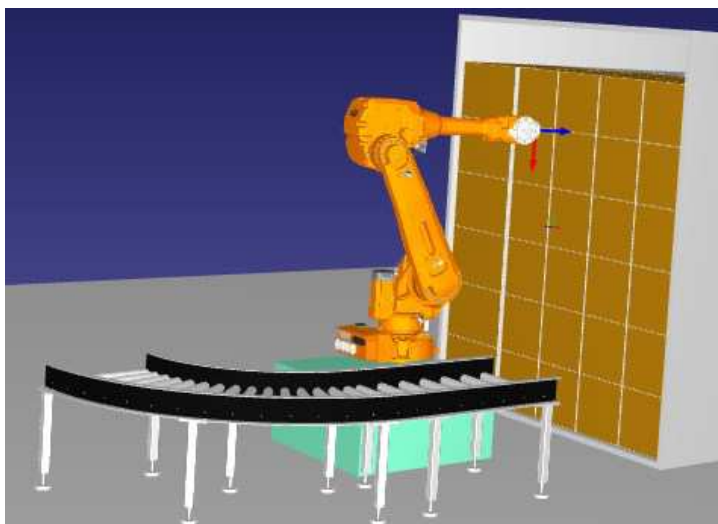
Typ robotu		Výška robotu	Nosnost robotu	Hmotnost robotu	Výška kontejneru
Kuka	KR 120 QUANTEC PA arctic	2,215 m	120 kg	1075 kg	2,385 m
Kuka	KR 300-2 PA	2,630 m	300 kg	2150 kg	
ABB	IRB 460	1,850 m	110 kg	925 kg	
ABB	IRB 660	2,300 m	180 kg	1650 kg	
Fanuc	R-2000iC/165 F	2,000 m	165 kg	1090 kg	

Tabulka 4: Vybrané roboty na základě nosnosti

Z tabulky je zřejmé, že se hmotnost robotu s nosností pro více než 1 krabici násobí a jeho rozměry jsou hraniční s rozměry kontejneru nebo je převyšují. Větší robot pro vyložení většího počtu krabic najednou by nebyl schopen manipulace uvnitř kontejneru. Z těchto důvodů byly navrženy efektor pro manipulaci pouze s jednou krabicí.

1.2. Předběžný návrh pracoviště a časový rozbor

Na obrázku č. 2 je zobrazen předběžný návrh pracoviště v programu RoboDK, který obsahuje kontejner maximálních rozměrů s krabicemi, robot pro ilustraci (ABB IRB 4600-60/2.0) a dopravník. Byl vybrán kontejner s maximálními rozměry z důvodu největšího množství odebíraných krabic. Robot je v předběžném návrhu umístěn na podstavci, kvůli dosažení požadované výšky. V detailním návrhu pracoviště bude robot umístěn na výše zmíněném podvozku spolu s dopravníkem.



Obrázek 2: Předběžný návrh pracoviště v programu RoboDK

Podle zadání je stanoven celkový čas pro vyložení kontejneru t_{ckon} na dobu 3 hodin (10 800 s). Pro výpočet maximálního počtu krabic v kontejneru byl použit kontejner s maximálními rozměry, tj. výškou 2,352 m, šířkou 2,698 m a délkou 13,556 m. Jedna vrstva krabic v kontejneru obsahuje 30 krabic, z nichž 24 krabic je uložených na délku a 6 krabic na šířku (viz obrázek č. 1). Při výpočtu (1) byla použita šířka krabice $š_{krab.} = 0,42 \text{ m}$, délka krabice $d_{krab.} = 0,6 \text{ m}$ a délka kontejneru „ $d_{kont.}$ “. Z výpočtu (1) vyplývá, že celkově lze kontejner naložit 735 krabicemi.

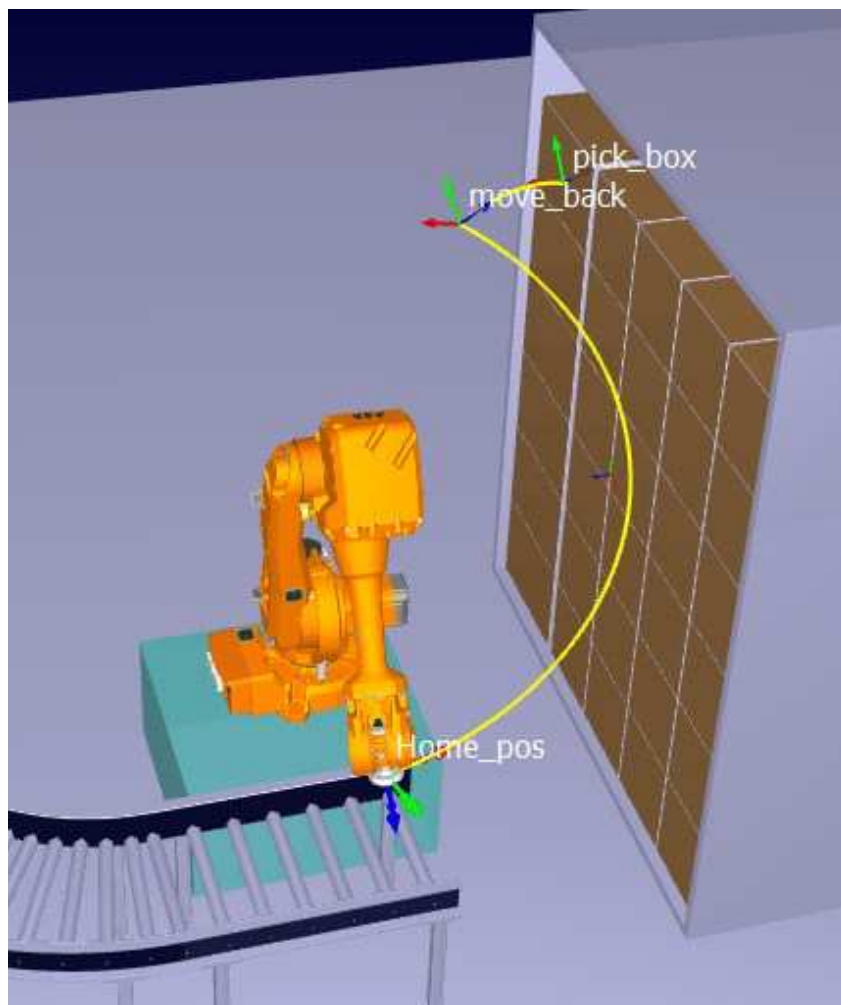
$$počet_{kr.} = \frac{d_{kont.}}{d_{krab.}} \cdot 24 + \frac{d_{kont.}}{š_{krab.}} \cdot 6 = \frac{13,556}{0,6} \cdot 24 + \frac{13,556}{0,42} \cdot 6 = 735 \text{ krabic} \quad (1)$$

$$t_{ckr} = \frac{t_{ckon}}{počet_{kr.}} = \frac{10800}{735} = 14,7 \text{ s.} \quad (2)$$

Celkový čas na vyložení jedné krabice z kontejneru „ t_{ckr} “ podle výpočtu (2) odpovídá času 14,7 s.

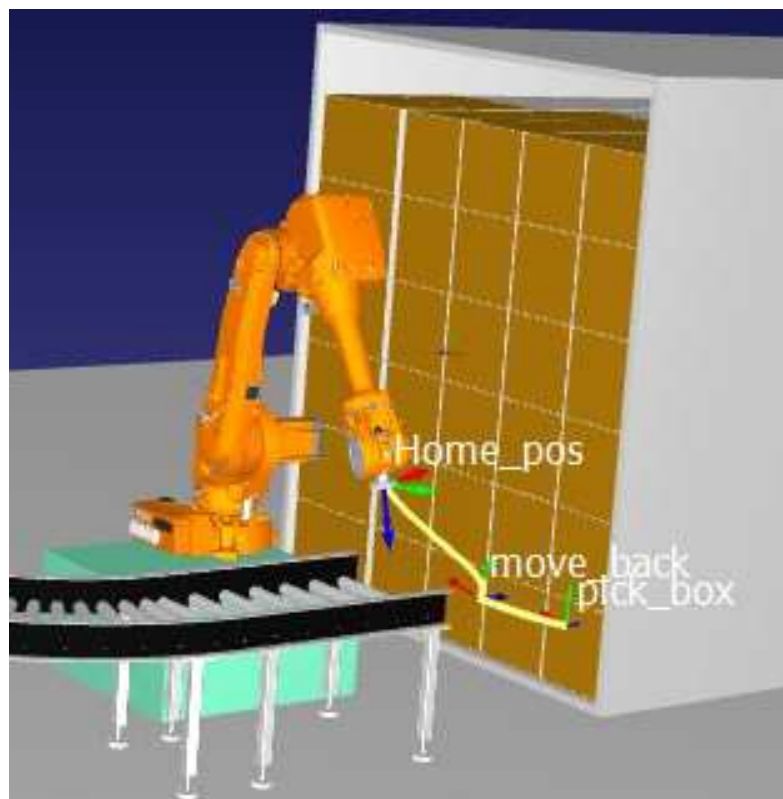
Na následujících obrázcích č. 3 a č. 4 jsou znázorněny body, resp. polohy robotu pro cyklus vyložení vybrané krabice. Polohy dílčích bodů jsou pouze orientační, ale pro danou analýzu času dostačující. Hlavním důvodem jsou chybějící informace o typu robotu a o rozměrech navrženého efektoru. Určení poloh robotu pro odebrání krabice bylo provedeno postupně pro dvě krabice (A a B) v různých místech kontejneru.

Na obrázku č. 3 je znázorněno pracoviště v programu RoboDK s polohami pro odebrání krabice A v horním levém rohu kontejneru. Tato krabice byla vybrána z důvodu nejdelší vzdálenosti od dopravníkového pásu.



Obrázek 3: Odebrání krabice A

Na obrázku č. 4 je znázorněno pracoviště v programu RoboDK s polohami pro odebrání krabice B ve spodním pravém rohu kontejneru. Tato krabice byla vybrána z důvodu nejkratší vzdálenosti od dopravníkového pásu.



Obrázek 4: Odebrání krabice B

V následující tabulce jsou uvedeny orientační vzdálenosti jednotlivých pozic. Orientační časy pro dílčí polohy byly určeny na základě odhadu času pro manuální odebrání krabice z dané pozice v kontejneru. Průměrný čas pro jednotlivé pozice byl určen jako aritmetický průměr časů pro krabici 1 a pro krabici 2. Celkový průměrný čas pro vyložení jedné krabice je součtem jednotlivých časů pro dané pozice.

Pozice robotu	Popis	Krabice A		Krabice B		Průměrný čas [s]
		Vzdálenost [m]	Čas [s]	Vzdálenost [m]	Čas [s]	
„Home“	Robot je ve výchozí pozici nad dopravníkem	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
„Pick box“	Robot se přemístil do pozici před odebíranou krabicí.	2,689	3,0	1,451	2,0	2,5
Uchopení krabice	Proces uchopení krabice pomocí efektoru.	0,000	6,0	0,000	6,0	6,0
„Move back“	Robot vytahuje krabici z řady.	0,362	0,8	0,541	1,2	1,5
„Home“	Robot se s krabicí přemístí do pozice nad dopravníkem.	2,700	4,0	0,941	1,5	2,75
Upuštění krabice	Efektor robotu položí krabici na dopravník.	0,000	2,0	0,000	2,0	2,0

Tabulka 5: Určení celkového průměrného času vyložení 1 krabice

Celkový průměrný čas pro vyložení jedné krabice z kontejneru reálně odpovídá 14,75 s. Za těchto podmínek lze kontejner vyložit za celkový čas 3 hodiny a 41 s. Celkový průměrný čas pro vyložení kontejneru se téměř shoduje s návrhem času podle zadání. K celkovému času bude připočítán čas potřebný pro skenování krabic.

2. Rešerše

2.1. RTU spol. Wynright

Robotické vykládání nákladních aut / kontejnerů (The Robotic Truck Unloader = RTU) společnosti Wynright je autonomní robotická platforma pro vykládání přívěsů nebo nákladních kontejnerů z doků s robotem MH80 YASKAWA s maximálním dosahem 2,05 m. Robot je umístěn k teleskopickému dopravníku, který vjíždí do vykládaného kontejneru. Robot (obrázek č. 5) je schopen uchopit krabice pravidelného i nepravidelného tvaru, jedné velikosti nebo smíšené krabice různých velikostí. Všechny krabice však musí mít maximální hmotnost 100 kg a rozměry v rozmezí 150 mm – 750 mm. Robot je schopen uchopit pouze jednu krabici.

Efektor (obrázek č. 6) je tvořen dvěma pneumatickými čelistmi v podobě desek s otvory, pomocí kterých robot sevře horizontální hranu krabice. Efektor je opatřen osvětlením a 3D skenovacím zařízením WynSight, kterým je možné identifikovat umístění jednotlivých krabic. Před každým uchopením krabice je krabice skenována. Poté je krabice uchopena efektoem a přesunuta na dopravníkový pás. [1][2][3][4][5]



Obrázek 5: Platforma RTU [1]



Obrázek 6: Efektor RTU [3]

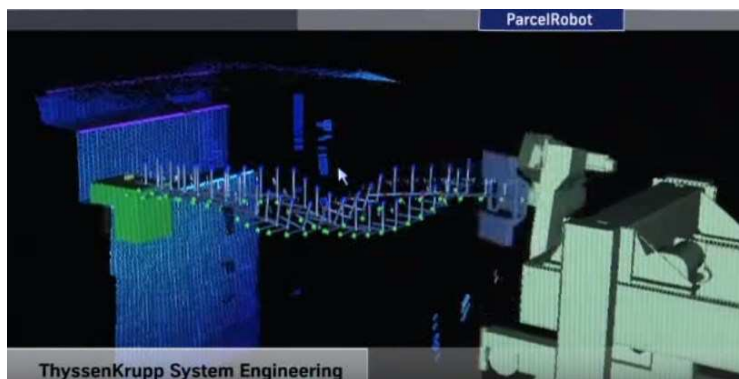
2.2. Robot PR400 spol. Thyssenkrupp

Robot německé firmy Thyssenkrupp (obrázek č. 7) je používán např. ve společnosti DHL k vykládání krabic z kontejneru. Šestiosý robot je umístěn na řízeném podvozku, pomocí kterého zařízení vjíždí do kontejneru. Robot pomocí přísavek na efektoru zvedá kartonové krabice a ukládá je na dopravníkový pás. Na konci dopravníkového pásu jsou automaticky připraveny palety. Efektor robotu je schopen uchopit krabice o maximální hmotnosti 31,5 kg a s délkou hrany v rozmezí 20 cm – 80 cm. Maximální takt robotu je 450 krabic za 1 hodinu. [6][7][10]



Obrázek 7: Robot PR400 [6]

Zařízení obsahuje 3D laserový snímač společnosti Sick, kterým skenuje jednotlivé vrstvy uspořádaných krabic v kontejneru. Obraz je přenášen do počítače, který vyhodnocuje souřadnice a rozměry krabic pomocí softwaru. Zobrazení pracoviště pomocí softwaru je znázorněno na obrázku č. 8. Díky tomu se robot pohybuje rychle a s vysokou přesností uchopí krabici v kontejneru, jak přesně uloženou, tak i pootočenou či propadnutou. [6][7][10]



Obrázek 8: Vizualizace krabic a jejich uchopení [9]

Efektor pro robot PR400 je zobrazen na obrázku č. 9. Efektor je tvořen dvěma čelistmi s 10 menšími přísavkami po stranách a jednou větší přísavkou uprostřed. Robot je schopen uchopit pouze jednu krabici. Efektor nejprve pomocí první čelisti z přední strany přitáhne krabici a poté druhou čelistí sevře krabici ze spodní strany, obě situace jsou zobrazeny na obrázcích č. 10 a č. 11. [6][7][10]



Obrázek 9: Efektor robotu PR400 [6]



Obrázek 10: Přisunutí krabice efektozem [8]



Obrázek 11: Uchopení krabice efektozem[8]

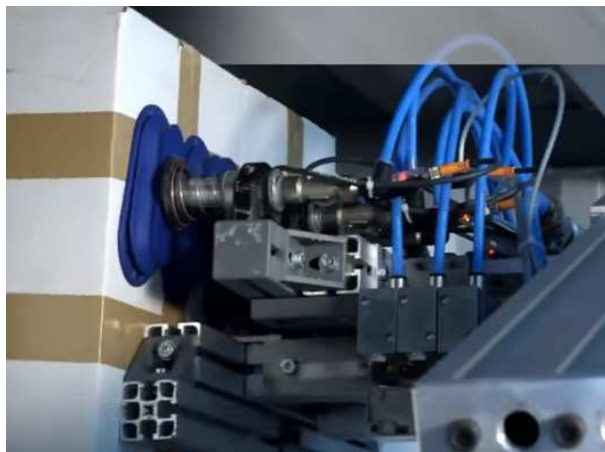
2.3. Robot PR500 spol. Thyssenkrupp

Robot PR500, zobrazený na obrázku č. 12, vychází z předchozí verze robotu PR400. Hlavním důvodem byl nedostatečný takt robotu, který nepřesahoval manuální vyložení kontejneru. Robot PR500 je čtyřosé úchopové zařízení, které je schopno vyložit kontejner s maximálním taktem 1200 krabic za 1 hodinu. Přemisťované krabice mohou mít rozměry od 300 x 300 x 200 mm do 800 x 800 x 560 mm s hmotností do 60 kg. Robot je umístěn na plně automatizovaném teleskopickém dopravníku, který vjíždí do vykládaného kontejneru. [12]



Obrázek 12: Rameno robotu PR500 s efektem [11]

Efektor na obrázku č. 13 je tvořen 6 přísavkami oválného tvaru. Díky šesti přísavkám je robot schopný vzít vždy dvě krabice současně nebo jednu širší krabici. Tím je zajištěn vysoký takt. Před uchopením krabice je vrstva skenována 3D skenerem k určení pozice a orientace jednotlivých krabic. Efektor pomocí přísavek zachytí dvě krabice a povysune je, poté jsou krabice zajištěny přitlačnými profily, umístěnými pod přísavkami. [10][11]



Obrázek 13: Efektor robotu PR500 [11]

2.4. Zařízení C1 spol. Copal

Pomocí polo-automatizovaného systému C1, zobrazeného na obrázku č. 14, lze vykládat kontejnery s taktem 1800 krabic za hodinu. Maximální rychlost je 2700 krabic za hodinu v závislosti na velikosti a uspořádání krabic v kontejneru. K obsluze C1 je potřeba jednoho operátora, který řídí celý systém pomocí dvou joysticků. Pomocí softwaru speciálně vyvinutého pro zařízení C1 je možné krabice ukládat dle libovolného nastavení na europalety či jiné palety. [13][14][16]



Obrázek 14: Zařízení C1 [13]

Efektor (obrázek č. 15) je tvořen dvojicí ramen s přísavkami s možností výškové korekce. Součástí efektoru jsou lasery pro monitorování přesné polohy. Pro vytažení horní řady krabic bezprostředně pod stropem kontejneru efektor uchopí krabice z přední strany pomocí ramene s přísavkami a po vysunutí jsou krabice podloženy a přesunuty na dopravníkový pás. Krabice v dolní polovině kontejneru jsou zachyceny vodorovnými přísavkami z horní strany a přesunuty na válečkový dopravník. [13][14][16]



Obrázek 15: Efektor s přísavkami zař. C1 [14]

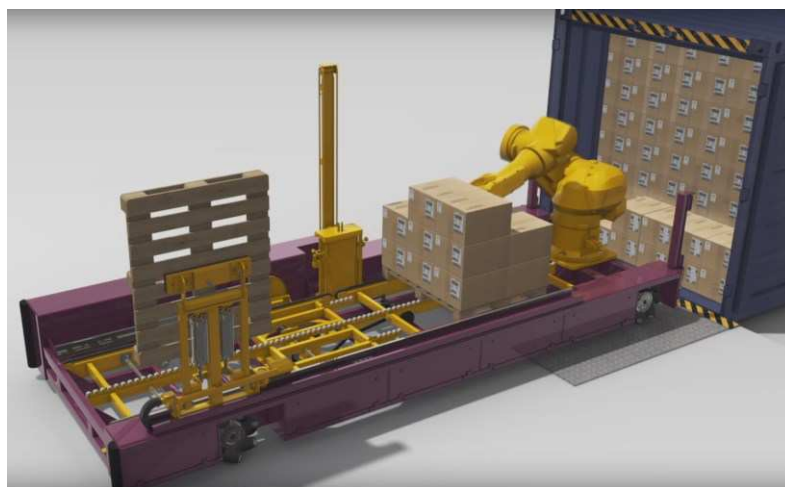
Druhou variantou efektoru je výsuvná deska, vsunutá pod spodní stranu krabice. Tato varianta, zobrazená na obrázku č. 16, se používá pro těžké a křehké zboží. Pro zařízení lze použít libovolně navržený efektor. [13][14][16]



Obrázek 16: Efektor s deskou zař. C2 [15]

2.5. Koncept TEUN – PIQR +PAQR

Koncept TEUN zahrnuje systém PIQR pro vykládání krabic z lodních kontejnerů a také systém PAQR pro nakládání krabic do kontejnerů. Celý systém PIQR je zobrazen na obrázku č. 17. Rameno robotu umožňuje rotaci o 360 ° uvnitř kontejneru. Systém je vybaven mechanismem pro zvedání prázdné palety a umožnění průjezdu naložené a zabalené palety k odběru obsluhou pomocí vysokozdvizného vozíku (dále jen VZV). Přesun plné palety je zajištěn válečkovým dopravníkem. Obsluha VZV dostává signál z PIQR, že je paleta připravena k odběru. Zabalená paleta může být označena štítkem. [18][19]



Obrázek 17: Systém PIQR pro vykládání kontejneru [17]

Před začátkem vykládání kontejneru je potřeba zadat manuálně jeho rozměry. Poté systém vizuálně kontroluje přední část otevřeného kontejneru a po příkazu se zařízení přesune do kontejneru. Zařízení se může pohybovat ve všech směrech díky všesměrovým kolům. Pokud je zařízení dostatečně blízko k vykládaným krabicím v kontejneru, začne skenovat 3D skenerem. Pokud se 3D sken shoduje se zadanými rozměry, systém může začít vykládat první řadu produktů. Efektor robotu je tvořen horizontální deskou pro podebrání krabice ze spodní strany. Po vyložení první řady se proces skenování a porovnávání rozměrů opakuje. V případě, že se rozměry neshodují, systém se zastaví a vyšle zprávu směrem k ovladači VZV. Systém je nezávislý a automatizovaný v případě naplnění kontejneru stejnými produkty. Pokud se v kontejneru nachází několik různých produktů, je potřeba dohledu zaměstnance, aby nedošlo k zamíchání produktů. PIQR je neustále v kontaktu s řídicím centrem a celý proces může být zajištěn kamerami a lze jej sledovat v provozu. [18][19]

3. Požadavkový list

V následující tabulce č. 6 jsou uvedeny parametry, na jejichž základě byly navrženy varianty konstrukčního řešení efektoru. Při jejich hodnocení a výběru vhodné varianty byly použity parametry z požadavkového listu.

Požadavek	Parametr	Hodnota	Poznámka
Objekt manipulace (OM)	Rozměr	600 x 400 x 420 mm (Odchylka ± 40 mm)	Krabice ve spodní části kontejneru mohou být deformované vahou ostatních krabic.
	Hmotnost	35 kg	Krabice naplněny textilním zbožím.
	Materiál	Karton	Koeficient tření $\mu = 0,3$ [22]
	Orientace	Libovolná	Krabice mohou být různě otočené, nepravidelně naskládáné.
Hmotnost efektoru		Max. 40 kg	
Cíl přemístění OM		Dopravníkový pás	Válečkový dopravníkový pás
Rozsah pracovní teploty		-30 °C až +50 °C	Celoroční provoz – exteriér
Maximální takt	4 kont. / 12 h	1 kontejner / 3 h	
Max. doba vykládky plného kontejneru		6 h	
Odvoz naložené palety ke skladu		Pomocí VZV	
Nízká cena			
Složitost konstrukce		Co nejjednodušší	
Energie		Tlaková (Pneumatika)	Zdroj stlačeného vzduchu součástí zařízení.
Pracovní tlak		6 bar	

Tabulka 6: Požadavkový list

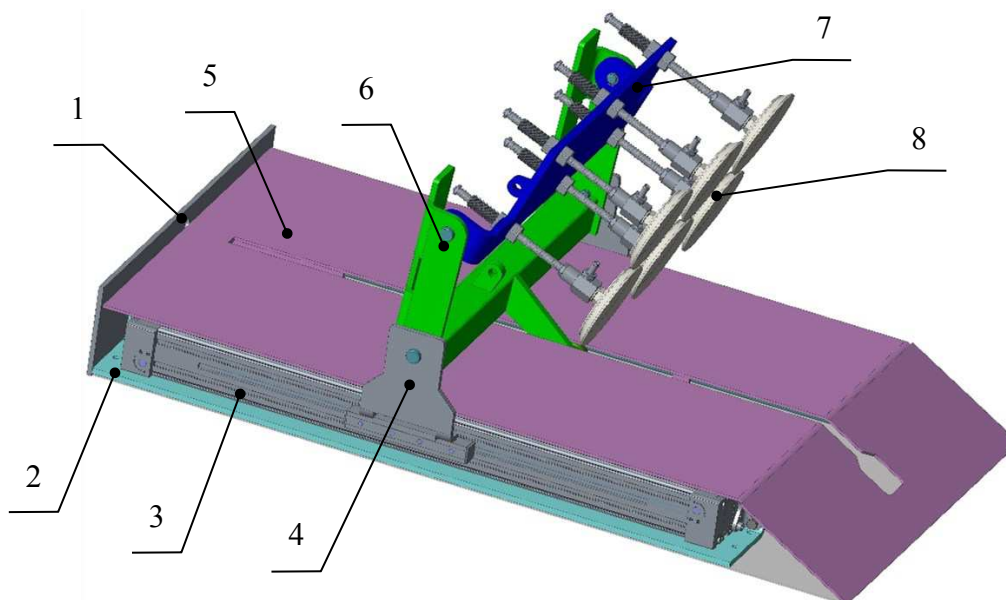
4. Navržené varianty efektoru

4.1. Varianta A

4.1.1. Návrh konstrukce efektoru

Efektor varianty A se skládá z nosného rámu a kompletu s přísavkami. Celková hmotnost efektoru podle programu Creo Parametric odpovídá 38,77 kg a jeho maximální rozměry jsou 440 x 442 x 370 mm. Efektor je zobrazen níže na obrázku č. 18.

Komplet s přísavkami se skládá ze svařených ocelových ohýbaných plechů. Ke svařeným plechům je pomocí čepu upevněn držák přísavek z ocelového vypáleného a ohýbaného plechu. Do držáku jsou vloženy pružinové nástavce s přísavkami řady VAS od výrobce Festo. Parametry navržených přísavek (obrázek č. 19) jsou uvedeny níže v tabulce č. 7. Pružinové nástavce zajišťují výškovou korekci nerovností povrchu krabic, způsobených jejich deformací. Pro zajištění vodorovné polohy držáku s přísavkami je možné použít plynovou pružinu vloženou mezi držák a rám pro přísavky. Druhou variantou je návrh paralelogramu pro udržení přísavek ve vodorovné poloze. Celý komplet s přísavkami je upevněn pomocí čepu ke konzoli, která je přišroubovaná k unášecím pohonům.



Obrázek 18: Varianta A efektoru

1 – interface rámu; 2 – Z-profil; 3 – pneumatický pohon; 4 – konzole; 5 – deska s náběhovou hranou; 6 – rám pro přísavky; 7 – držák přísavek; 8 – přísavky s pružinovými nástavci

Přísavka VAS-100-1/4-PUR-B	
Průměr přísavky	100 mm
Účinný průměr přísavky	90,5 mm
Tvar přísavky	S kruhová, standardní
Připojení vakua	Vnější závit G1/4
Materiál	PUR polyuretan
Pracovní teplota	-20 °C až +60 °C
Odrhovací síla při tlaku -0,7 bar	450 N
Provozní tlak	-0,95 až 0 bar
Provozní medium	Stlačený vzduch dle normy ISO 8573-1:2010

Tabulka 7: Parametry přísavky VAS-100-1/4-PUR-B [27]



Obrázek 19: Přísavka VAS-100-1/4-PUR-B spol. Festo [27]

Rám efektoru je tvořen svařencem desky pro interface robotu a dvěma Z-profilů umístěnými symetricky po stranách efektoru. Připojovací rozměry pro robot nejsou známy, proto byly navrženy pouze pro ilustraci místa připojení. Délka desky s náběhovou hranou odpovídá 2/3 celkové délky odebírané krabice, tj. 400 mm. Tato délka je dostačující pro zajištění těžiště krabice na rámu efektoru a tím zmenšení klopných momentů na přísavky. Povrch desky s náběhovou hranou je eloxován pro zvýšení tvrdosti a odolnosti. Deska s náběhovou hranou obsahuje drážku, která spolu s přivařenými hliníkovými plechy ve spodní části tvoří dráhu pro vedenou kladku. Poloha vedené kladky určuje polohu rámu s přísavkami. Popis pohybu kladky a rámu s přísavkami je popsán v následující kapitole 4.1.2 *Popis odebrání krabic efektozem*. Detail dráhy pro kladku je zobrazen na obrázku č. 21.

Pod deskou s drážkou jsou k Z-profilům přišroubovány dva pneumatické bezpístnicové pohony (obrázek č. 20), navržené na základě orientační hmotnosti kompletu s přísavkami a hmotnosti OM. Na základě plochy krabice ležící na efektoru byl zdvih pneumatického pohonu stanoven na 400 mm. Parametry vybraného pneumatického pohonu jsou uvedeny v následující tabulce č. 8.

Přímočarý pneumatický pohon DGC-K-32-400-PPV-A-GK	
Průměr pístu	32 mm
Zdvih	400 mm
Tlumení	PPV nastavitelné pneumatické tlumení na obou stranách
Teoretická síla při 6 barech	483 N
Připojení pneumatiky	G 1/8
Maximální rychlost s tlumením PPV	2 m/s
Provozní tlak	2 – 8 bar
Provozní medium	Stlačený vzduch dle normy ISO 8573-1:2010
Teplota okolí	-10 °C až +60 °C
Odolnost proti korozi	Vnitřní prostory nebo krytování

Tabulka 8: Parametry přímočarého pneumatického pohonu Festo[28]

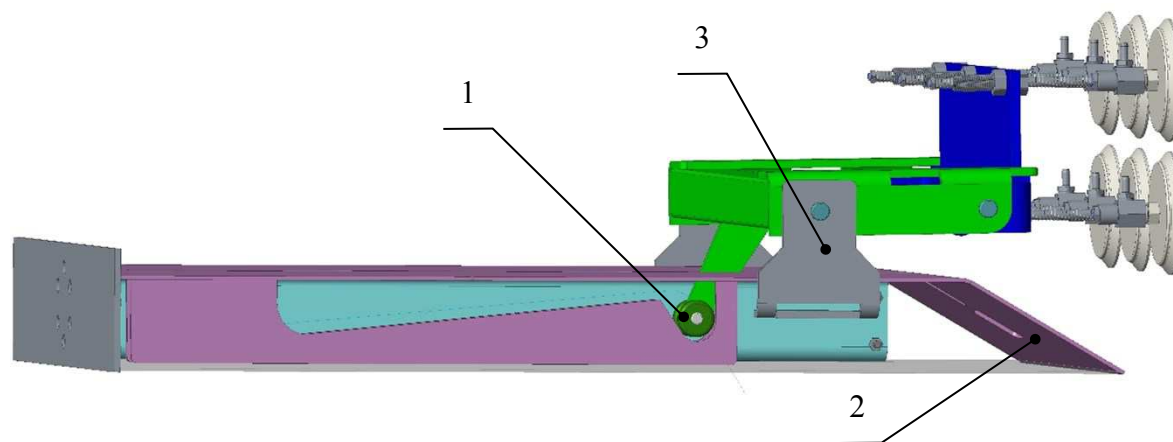


Obrázek 20: Pneumatický pohon DGC-K-32-400-PPV-A-GK spol. Festo [28]

4.1.2. Popis odebrání krabic efektozem

Před odebráním krabic je každá vrstva skenována. Na základě skenování jsou vyhodnoceny souřadnice a orientace krabic, což umožní přesnější a rychlejší odebrání krabic.

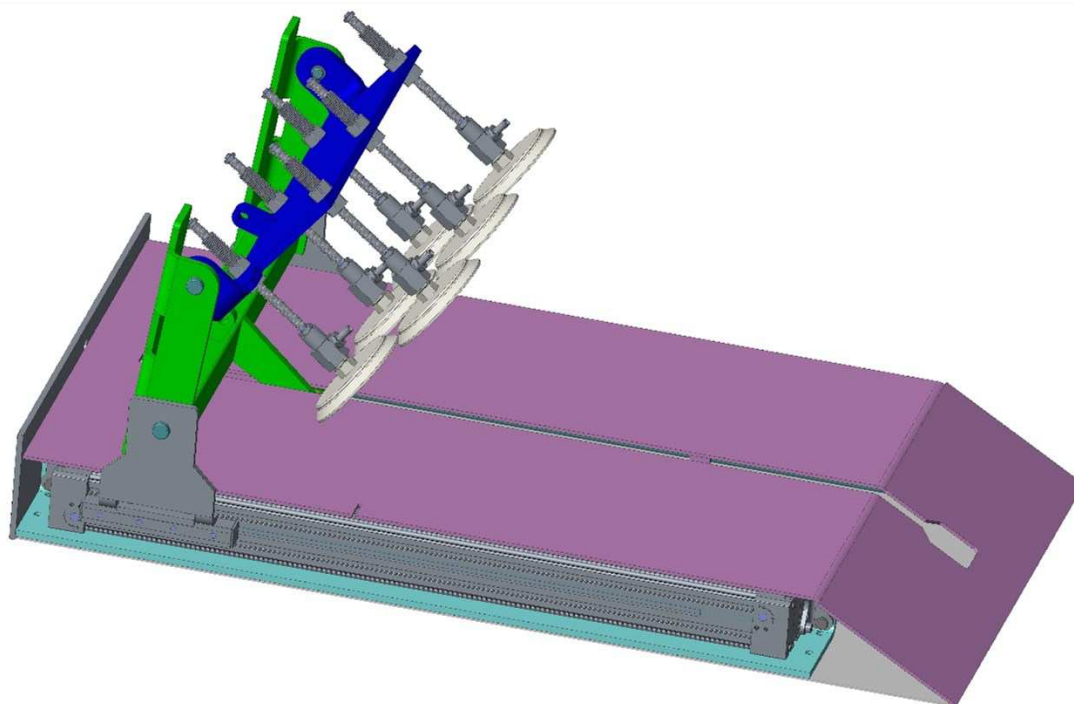
Robot s efektozem najede do pozice pod úroveň spodní hrany odebírané krabice. Náběhová hrana tak blokuje krabici pod odebíranou krabicí proti vypadnutí či převrácení. Komplet s rámem a přísavkami je ve výchozí poloze maximálně vysunutý, kladka je zachycená v západce (viz Obrázek 21).



Obrázek 21: Počáteční a koncová poloha efektoru (pro názornost bez pravého pohonu a profilu)

1 – kladka; 2 – náběhová hrana desky; 3 – komplet s rámem a přísavkami

Přísavky zachytí krabici ve spodní části přední stěny a natahují ji zpět na desku po náběhové hraně. Nejprve dojde k nadzvednutí přední hrany krabice a tím sklopení přísavek dolů. Současně dojde k natočení držáku s přísavkami v kloubu konzole. Pneumatický pohon táhne komplet s přísavkami směrem dozadu, konstrukce s přísavkami se zvedne na doraz. V tuto chvíli krabice překonává nájezdovou hranu a najíždí na rovnou plochu desky, kladka je vyvlečena ze západky a je vlečena konstrukcí kompletu s přísavkami po dráze zpět až do polohy dorazu, který je zobrazen na obrázku č. 22.



Obrázek 22: Doraz efektoru a max. natažení krabice na desku

Po celou dobu odebrání krabice, tzn. pohybu přísavky s krabicí po desce efektoru, se zadní hrana odebírané krabice posouvá po spodní krabici v kontejneru. Tím je snížena zátěž pro pohon i přísavky. Současně po celou dobu natahování krabice na efektor krabice klesá, až v koncové poloze dosedne na desku efektoru. Toto je zajištěno tvarem vedení, ve které se kladka rámu pro přísavky pohybuje.

Takto odebranou krabicí budou přísavky přidržovat při přesunutí nad dopravníkový pás. V poloze nad dopravníkovým pásem přísavky upustí krabici a vytlačí ji směrem na dopravníkový pás.

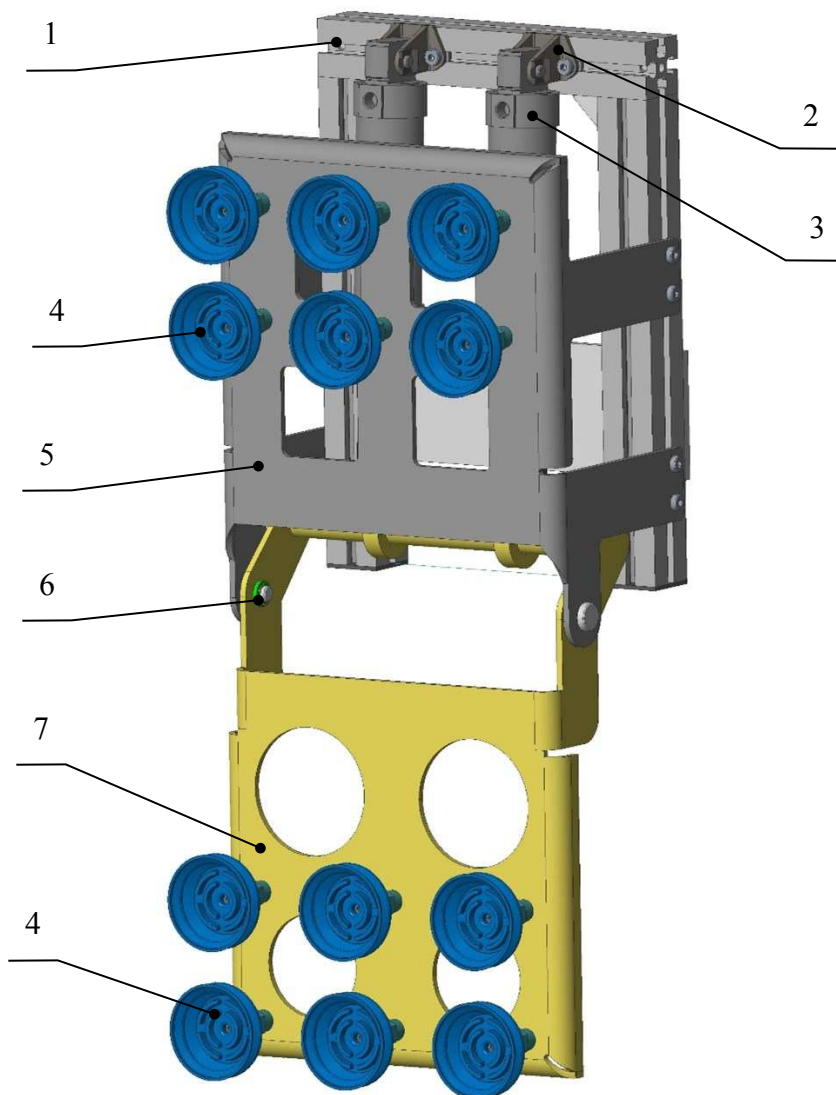
Díky tomu, že je koncová poloha efektoru stejná jako počáteční, tzn. při maximálním vysunutí přísavky, lze ušetřit čas celkového jednoho cyklu odebrání krabice. Celková výška efektoru, tj. 370 mm, nepřesahuje minimální výšku krabice, proto lze tímto způsobem odebírat krabice jak pod stropem kontejneru, tak i po jeho stranách i na podlaze.

Nevýhodou je velký výškový rozdíl, který krabice překonává při natahování na náběhovou hranu desky. Výškový rozdíl je dán potřebným prostorem pro vedení klady a rozměry pneumatických pohonů. Důsledkem toho je vyšší hmotnost kvůli ocelové konstrukci, velké rozměry dané délkou zdvihu pohonů.

4.2. Varianta B

4.2.1. Návrh konstrukce efektoru

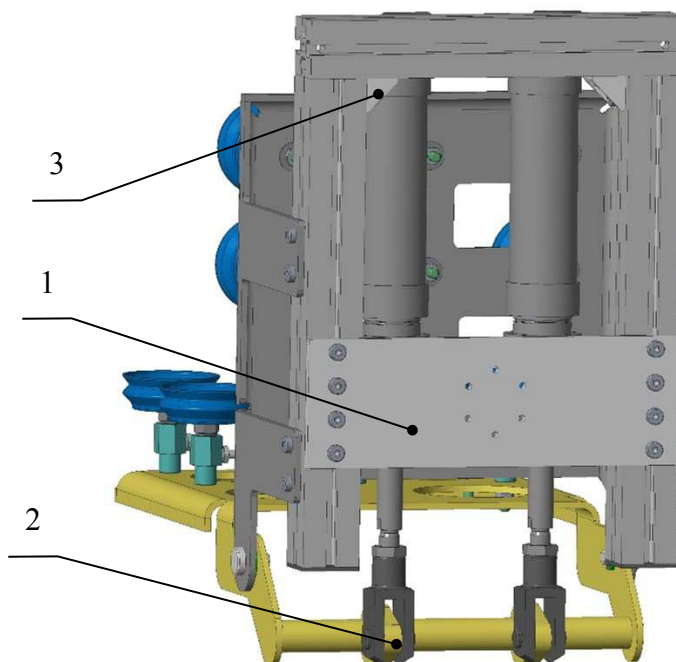
Efektor varianty B se skládá ze tří hlavních celků, tj. rám z profilů, pevná a pohyblivá čelist. Maximální rozměry efektoru jsou 786 x 320 x 272 mm a hmotnost efektoru odpovídá dle programu Creo Parametric hodnotě 24,34 kg. Navržená varianta B je zobrazena níže na obrázku č. 23.



Obrázek 23: Efektor varianty B

1 – rám z profilů; 2 – konzole pro upevnění pohonu; 3 – pneumatický válec; 4 – přísavky Festo; 5 – pevná čelist; 6 – čep s klznými pouzdry; 7 – pohyblivá čelist

Rám efektoru je tvořen třemi hliníkovými profily MiniTec 45 x 45 spol. Opticontrol, které jsou sešroubovány pomocí úhelníků a spojovacího materiálu stejné společnosti. Hliníkové profily byly zvoleny z důvodu nízké hmotnosti, snadného spojení a variability připojení dalších prvků. K rámu je přišroubován interface pro robot v podobě desky pouze pro vizualizaci, protože připojovací rozměry robotu ještě nejsou známy (obrázek č. 24).



Obrázek 24: Rám a interface efektoru – var. B

1 – deska pro interface; 2 – navařená oka; 3 – úhelníky MiniTec

Pevná čelist efektoru se skládá z ohýbaného ocelového rámu. Pro zvýšení tuhosti rámu byly okraje ohnuty a v rozích bodově svařeny. Otvory jsou v rámu pro jeho odlehčení a slouží také k přivedení stlačeného vzduchu k přísavkám. Rám pevné čelisti je přišroubován k hliníkovému profilu pomocí čtyř šroubů M8 po obou stranách. Do rámu pevné čelisti je vložen čep s pouzdrem pro umožnění rotace druhé čelisti.

V horní části rámu jsou přišroubovány 2 konzole pro kloubové uložení pneumatických pohonů spol. Festo. Požadovaný zdvih pneumatického pohonu byl určen experimentálně, a to na hodnotu 140 mm. Požadovaná síla při zdvihu pohonu byla orientačně vypočítána a na základě výsledku byl vybrán pohon. Z důvodu snížení rozměrů bylo výhodnější použít

dva stejné pneumatické pohony s poloviční silou. Pohon je zobrazen na obrázku č. 25 a jeho parametry jsou uvedeny níže v tabulce č. 9.

Kruhový pneumatický válec DSNU-50-140-P	
Průměr pístu	50 mm
Zdvih	140 mm
Upevnění	kyvné
Teplota okolí	-20 °C až +60 °C
Teoretická síla při 6 barech – dopředný chod	1178 N
Teoretická síla při 6 barech – zpětný chod	990 N
Pzn. při okolní teplotě 80 °C se hodnoty snižují o cca 50 %	

Tabulka 9: Parametry kruhového pneumatického válce Festo [29]



Obrázek 25: Kruhový pneumatický válec DSNU-50-140-P [29]

Nosným prvkem pohyblivé čelisti je svařovaný rám z ohýbaného ocelového plechu s otvory pro odlehčení, ocelové trubky o světlosti 25 x 4 mm a dvě ocelová oka navařená symetricky na trubku. Oka slouží k připojení pneumatických válců. Hrany ocelového ohýbaného plechu o tloušťce 5 mm jsou taktéž bodově svařeny pro vyšší pevnost a výslednou nižší hmotnost efektoru. Do rámu jsou nalisována dvě kluzná pouzdra. Přes tato kluzná pouzdra jsou nalisovány čepy pevného rámu a zajištěny segerovým pojistným kroužkem.

K rámu je přišroubováno šest vakuových přísavek řady VASB spol. Festo, zobrazených níže na obrázku č. 26, jejichž parametry jsou uvedeny v následující tabulce č. 10. Pohyblivá čelist má taktéž šest přísavek o stejném složení a velikosti. Otvory k odlehčení v rámu slouží k přivedení stlačeného vzduchu k přísavkám.

Přísavka VASB-75-1/4-PUR-B	
Průměr přísavky	75,0 mm
Účinný průměr přísavky	67,4 mm
Výškové vyrovnání přísavky	15,5 mm
Tvar přísavky	SB kulatá, skládaná, 1,5 měchu
Připojení vakua	Vnější závit G 1/4
Provozní tlak	-0,95 až 0 bar
Materiál	PUR polyuretan
Pracovní teplota	-20 °C až +60 °C
Přidrzná síla při tlaku 0,7 bar	250 N
Provozní medium	Stlačený vzduch dle normy ISO 8573-1:2010

Tabulka 10: Parametry přísavky [30]



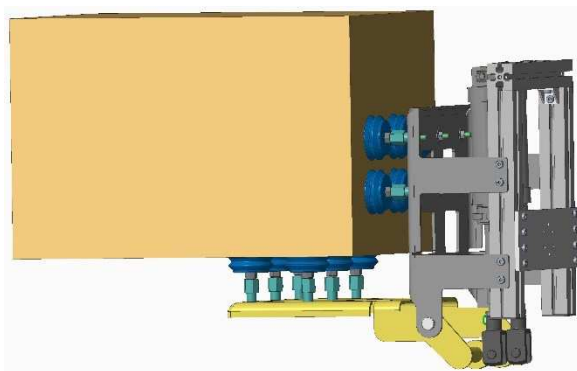
Obrázek 26: Přísavka VASB-75-1/4-PUR-B [30]

4.2.2. Popis odebrání krabic efektozem

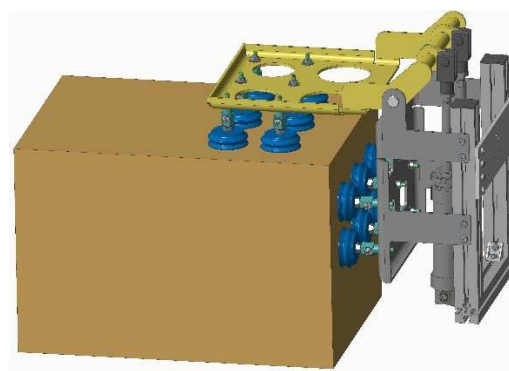
Před odebráním první krabice je každá vrstva uložených krabic naskenována. Skenování umožňuje analyzovat otočení a možné deformace krabic a vyhodnotit tak souřadnice pro pohyb efektoru při odběru dílčích krabic.

Pro případ horních krabic bezprostředně pod stropem kontejneru (obrázek č. 27) robot najede do pozice před odebíranou krabicí. Pevná čelist se nachází v horní části efektoru, pohyblivá čelist je ve spodní části efektoru. Za předpokladu, že horní krabice jsou nejméně deformované (nejsou zatížené hmotností ostatních krabic), se přísavky pevné čelisti přisají ve spodní části přední stěny krabice a povytáhnou krabici dopředu o cca 245 mm. Poté pohyblivá čelist sevře společně s pevnou čelistí pomocí přísavek spodní hranu krabice. Takto zajištěná krabice je přemístěna nad dopravníkový pás, kde je spodní čelist uvolněna a krabice je položena na dopravníkový pás, po kterém odjíždí. Efektor se vrátí do polohy před další krabicí a cyklus se opakuje.

Pro všechny ostatní krabice je cyklus obdobný. Robot umožňuje otočení celého efektoru o 180 °, tedy pevná čelist s rámem se nachází ve spodní části efektoru a horní část efektoru tvoří pohyblivá čelist. Efektor najede do horní části krabice. Přísavky pevné čelisti se přisají k horní části přední stěny krabice. Přísavky pohyblivé čelisti se přisají k horní stěně krabice a sevrou tak spolu s pevnou čelistí horní hranu krabice. Takto zajištěná krabice je přemístěna nad dopravníkový pás, kde jsou přísavky obou čelistí současně uvolněny a krabice dopadne na dopravníkový pás, po kterém odjíždí. Robot s efektozem se vrátí do polohy před další krabicí a cyklus se opakuje. Většina krabic v kontejneru bude odebírána tímto způsobem (obrázek č. 28).



Obrázek 27: Uchopení krabic pod stropem kontejneru

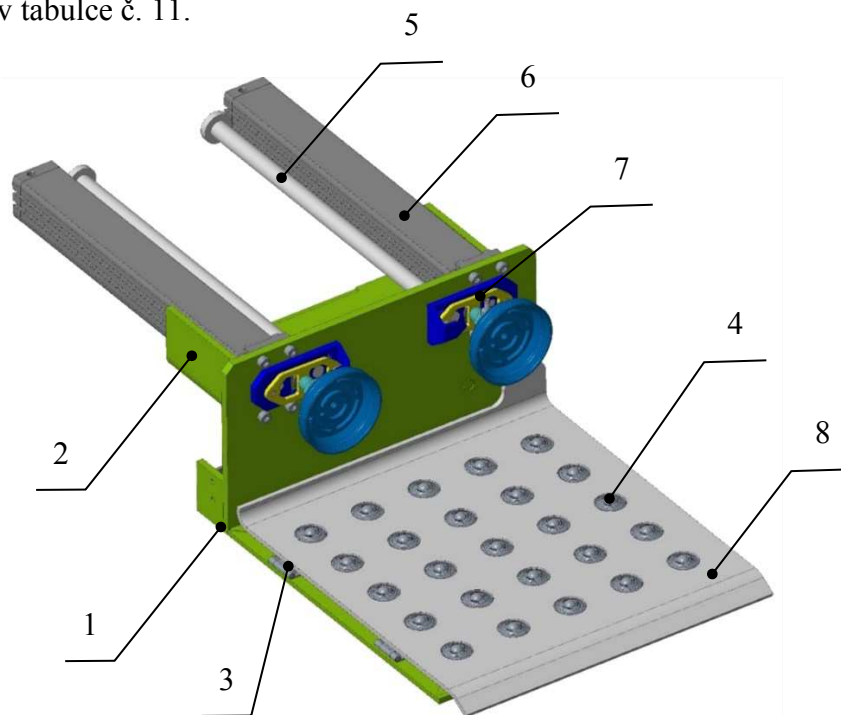


Obrázek 28: Uchopení všech ostatních krabic

4.3. Varianta C

4.3.1. Návrh konstrukce efektoru

Maximální rozměry efektoru Varianty C jsou 909 x 220 x 416 mm, hmotnost efektoru odpovídá dle programu Creo Parametric hodnotě 35,44 kg. Hlavními částmi efektoru varianty C (obrázek č. 29) jsou svařovaný rám s čelní deskou pro upevnění všech pohonů a sklopná hliníková deska s náběhovou hranou. Do této desky jsou vsazeny kuličkové dopravní jednotky Euro LD15 s prstencem (obrázek č. 30). Parametry kuličkových jednotek jsou uvedeny níže v tabulce č. 11.



Obrázek 29: Varianta efektoru C

1 – L-profil rámu; 2 – ohýbaný plech rámu; 3 – nerezový pant; 4 – kuličkové jednotky; 5 – kruhové vedení; 6 – pneumatický pohon; 7 – mechanismus pro naklopení přísavky; 8 – deska s náběhovou hranou

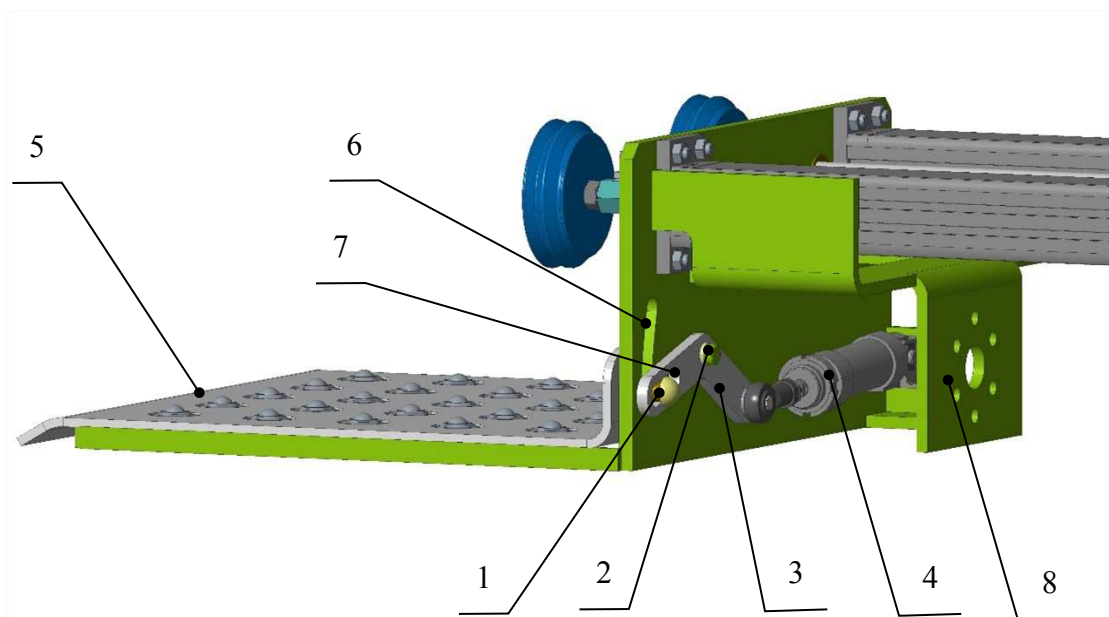
Nosnost	20 kg
Materiál	Nerezová ocel
Tření	1 až 0,02 μ
Rychlost	1 m/s
Pracovní teplota	-20 °C až +70 °C

Tabulka 11: Parametry kuličkové dopravní jednotky s prstencem Euro LD15 [31]



Obrázek 30: Kuličková dopravní jednotka Euro LD15 [31]

Hliníková deska s náběhovou hranou je upevněna na dvou nerezových pantech ke svařovanému rámu. Sklápění desky s kuličkami je zajištěno pneumatickým pohonem, zobrazeným níže na obrázku č. 31. Jeho parametry jsou uvedeny v tabulce č. 12. Tento pohon je umístěn za čelní deskou rámu. Pohyb je přenášek pomocí táhla s drážkou na jednom konci. Na čepu rámu je upevněno táhlo, které je na jednom konci připojeno k pneumatickému pístu. Druhý konec táhla s drážkou je připojen k čepu desky s náběhovou hranou. Čep je veden v drážce čelní desky a současně se odvaluje po drážce táhla. Drážka v táhle je nezbytná, protože body otáčení čepu táhla a čepu desky s kuličkovými jednotkami neleží ve stejném bodě.



Obrázek 31: Efektor varianty C

1 – čep desky s náběhovou hranou; 2 – čep rámu; 3 – táhlo; 4 – pneumatický pohon; 5 – deska s náběhovou hranou; 6 – drážka rámu; 7 – drážka táhla; 8 – interface pro robota

Průměr pístu	32 mm
Zdvih	40 mm
Teplota okolí	-20 °C až +120 °C
Teoretická síla při 6 barech	483 N

Tabulka 12: Parametry pneumatického válce DSNU-32-40-P [29]



Obrázek 32: Pneumatický válec DSNU-32-40-P spol. Festo [29]

Vysunutí přísavek je zajištěno pneumatickými pohony spol. Festo se zdvihem 400 mm, umístěnými v zadní části rámu. Pohony jsou s přírubou přišroubovány k čelu rámu, dále také ze spodní / boční strany pohonu k rámu. Toto upevnění by bylo upraveno na základě změn rámu při rozpracování varianty. Kvůli vysokému zdvihu pohonů bylo přidáno kruhové vedení s kluzným pouzdem v rámu pro každý pohon. Další upevnění vedení v jeho zadní části by bylo řešeno při dalším rozpracování varianty. Parametry vybraného pneumatického pohonu (obrázek č. 33) jsou uvedeny níže v tabulce č. 13.

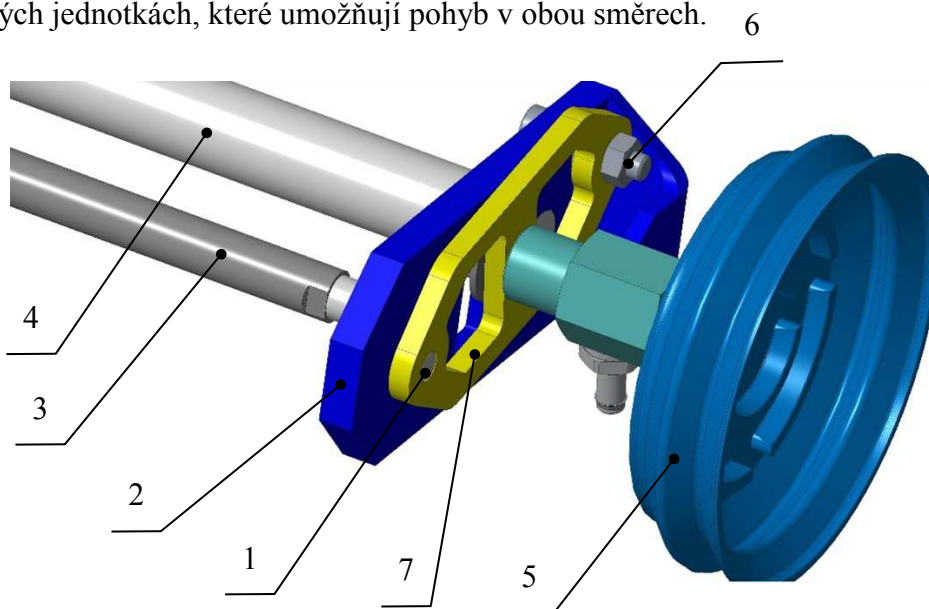
Kompaktní válec ADN-40-400-A-P-A	
Průměr pístu	40 mm
Zdvih	400 mm
Provozní režim	dvojčinný
Teplota okolí	-40 °C až +120 °C
Teoretická síla při 6 barech – dopředný chod	754 N
Teoretická síla při 6 barech – zpětný chod	686 N

Tabulka 13: Parametry válce ADN-40-400-A-P-A [32]



Obrázek 33: Typ kompaktního válce ADN [32]

Měchové přísavky o průměru 100 mm od výrobce Festo jsou umístěny na konzolách, které zajišťují přizpůsobení výšky přísavek změnám výšky odebírané krabice. Konzole jsou uloženy symetricky vůči sobě a jsou přišroubovány k pístnici pohonu a vedení. Konzole se skládá z dílu s drážkou a závity pro upevnění pístnice a vedení. Druhým dílem konzole je ocelový výpalek s otvorem pro upevnění přísavky a čepem pro otáčení výpalku vůči dílu. Pohyb je veden šroubem ve výpalku s podložkami vůči pevnému dílu. Ve stavu bez krabice se poloha šroubu v drážce nachází ve výchozí poloze, tj. na spodní hraně drážky. Při natahování krabice na desku je potřeba krabici nadzvednout o výšku rámu. Tomuto výškovému rozdílu se musí přizpůsobit také přísavky, jinak by mohlo dojít k jejich odtržení od povrchu krabice. V tomto případě není problémem minimální pohyb přísavky po kružnici, protože krabice leží na kuličkových jednotkách, které umožňují pohyb v obou směrech.



Obrázek 34: Konzole pro výškové nastavení přísavek

1 – čep otáčení; 2 – díl s drážkou; 3 – pístnice pohonu; 4 – vedení; 5 – přísavka; 6 – šroub vedený v drážce; 7 – výpalek

4.3.2. Popis odebrání krabic efektozem

Efektor se přiblíží k odebírané krabici tak, aby byla náběhová hrana efektoru ve stejné úrovni se spodní hranou krabice. Přísavky se maximálně vysunou a přečnívají mírně před náběhovou hranou. Přísavky zachytí krabici a pomalu ji přitahují po náběhové hraně až na kuličkové jednotky. Po odebrání krabice / jejím natažení na efektor jsou přísavky stále aktivní kvůli kuličkovým jednotkám (krabice by mohla sklouznout při mírném náklonu efektoru). Efektor se přesune do pozice vedle dopravníku. Krabice bude vždy sjíždět z efektoru na dopravník směrem zleva doprava. První část dopravníku bude tvořena kuličkovými jednotkami a krabice bude posunuta pomocí „podavače“ dále na válečkový dopravník, po kterém dojde až na konec, kde bude uložena na paletu a odvezena do skladu.

Samotné přesunutí krabice z efektoru na dopravník je zajištěno pneumatickým kruhovým válcem v zadní části efektoru. Efektor je vodorovně s podlahou a přísavky upustí krabici. Deska s kuličkovými jednotkami se otočí v nerezových pantech na pravé straně o úhel cca 20 ° a krabice „sklouzne“ na dopravník, kde je zachycena a odtlačena dále. Deska efektoru je sklopena zpět a robot s efektozem pokračuje odebráním další krabice, tj. najetím do polohy před další odebíranou krabicí. Postup se dále opakuje stejně viz výše.

5. Funkční analýza

Funkční analýza je systematický rozbor navržených variant a jejich hodnocení na základě vybraných kritérií. Pro hodnocení variant bylo vybráno 6 kritérií. Každé kritérium je popsáno v tabulce č. 14 níže, je mu následně přiřazena významnost metodou porovnávání párů kritérií podle hodnot v tabulce č. 15 a tabulce č. 16.

#	Kritérium	Charakteristika kritéria
1	Hmotnost	Maximální hmotnost efektoru – 40 kg
2	Rozměry	Maximální rozměry navrženého efektoru
3	Složitost konstrukce a údržba	Náročnost dílů na výrobu a sestavení spolu s údržbou a náročností výměny dílů.
4	Výrobní a provozní náklady	Orientační ceny pohonů a přísavek včetně odhadu spotřeby vzduchu.
5	Připojení směrem k robotu	Omezení pohybu robotu konstrukcí efektoru znamená také omezení manipulace s krabicemi.
6	Flexibilita vstupních podmínek	Flexibilita uchopení různě uspořádaných krabic v kontejneru s možnými deformacemi.

Tabulka 14: Přehled kritérií pro funkční analýzu

Hodnoty kritérií	
6	Vysoká úroveň
5	Dobrá úroveň
4	Průměrná úroveň
3	Nízká úroveň
2	Nevyhovující úroveň
1	Nepříznivý stav

Tabulka 16: Hodnoty kritérií

Významnost	
2	Nejvyšší
...	...
1	Nejnižší

Tabulka 15: Významnost kritérií

5.1. Určení významnosti kritérií

Jednotlivé páry kritérií byly vůči sobě porovnávány. Poté byl sečten počet voleb a vypočítána váha významnosti pro jednotlivá kritéria. Porovnání párů kritérií a určení tak významnosti kritérií bylo provedeno autorem a dvěma oponenty, viz tabulky č. 17, č. 18 a č. 19.

Porovnávané páry kritérií					Počet voleb	Pořadí	Váha významnosti	#
k1	k1	k1	k1	k1	3,0	3	1,55	K1
k2	k3	k4	k5	k6				
	k2	k2	k2	k2	2,0	5	1,36	K2
	k3	k4	k5	k6				
		k3	k3	k3	3,5	2	1,64	K3
		k4	k5	k6				
			k4	k4	4,5	1	1,82	K4
			k5	k6				
				k5	0,5	6	1,09	K5
				k6	2,5	4	1,45	K6

Tabulka 17: Určení váhy významnosti jednotlivých kritérií – Autor

Porovnávané páry kritérií					Počet voleb	Pořadí	Váha významnosti	#
k1	k1	k1	k1	k1	3,5	1–2	1,64	K1
k2	k3	k4	k5	k6				
	k2	k2	k2	k2	3,5	1–2	1,64	K2
	k3	k4	k5	k6				
		k3	k3	k3	3,0	3–4	1,55	K3
		k4	k5	k6				
			k4	k4	3,0	3–4	1,55	K4
			k5	k6				
				k5	1,0	5–6	1,18	K5
				k6	1,0	5–6	1,18	K6

Tabulka 18: Určení váhy významnosti jednotlivých kritérií – Oponent č. 1

Porovnávané páry kritérií					Počet voleb	Pořadí	Váha významnosti	#
k1	k1	k1	k1	k1	2,5	4	1,45	K1
k2	k3	k4	k5	k6				
	k2	k2	k2	k2	3,0	3	1,55	K2
	k3	k4	k5	k6				
		k3	k3	k3	0,0	6	1,00	K3
		k4	k5	k6				
			k4	k4	2,0	5	1,36	K4
			k5	k6				
				k5	4,0	1	1,73	K5
				k6	3,5	2	1,64	K6

Tabulka 19: Určení váhy významnosti jednotlivých kritérií – Oponent č. 2

Závislost váhy významnosti na počtu voleb je lineární, lze ji obecně popsat rovnicí v základním tvaru $q = k \cdot v + b$, kde v je počet voleb; q je váha významnosti; k je směrnice přímky; b je posunutí přímky.

Pro nejnižší hodnotu počtu voleb $v = 0,50$ a k ní připadající hodnotu váhy významnosti $q = 1,09$ po dosazení do vzorečku získáme první rovnici ve tvaru $1,09 = k \cdot 0,50 + b$.

Při stejném postupu pro nejvyšší hodnotu počtu voleb $v = 4,50$ a k ní připadající hodnotu váhy významnosti $q = 1,82$ po dosazení do vzorce získáme první rovnici ve tvaru $1,82 = k \cdot 4,50 + b$.

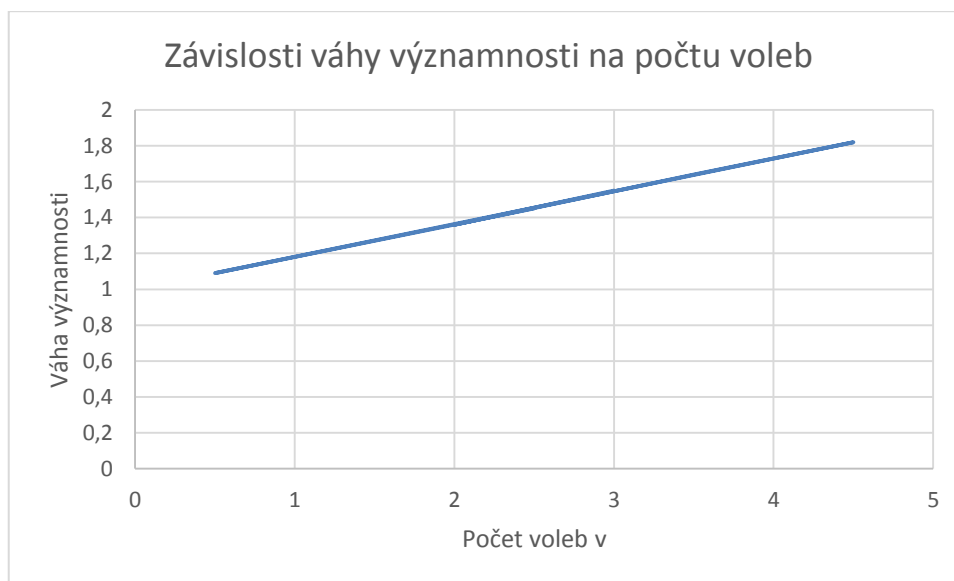
Výpočtem těchto dvou rovnic o dvou neznámých získáme hodnoty k a b :

$$1,09 = k \cdot 0,50 + b \quad (3)$$

$$1,82 = k \cdot 4,50 + b \quad (4)$$

$$k = 0,324; b = 0,360 \quad (5)$$

Závislost váhy významnosti na počtu voleb je vyjádřena rovnicí $q = 0,324 v + 0,360$ a je znázorněna na obrázku č. 35.



Obrázek 35: Závislost váhy významnosti na počtu voleb

5.2. Hodnocení navržených variant

V tabulce č. 20 jsou uvedeny parametry jednotlivých navržených variant. Na jejich základě jsou hodnoceny varianty hodnocením viz tabulka č. 16. Hodnocení bylo provedeno autorem práce a dvěma oponenty a je uvedeno níže v tabulkách č. 21, č. 22 a č. 23.

#	Kritérium	Varianta A	Varianta B	Varianta C
1	Hmotnost	38,77 kg	24,34 kg	35,44 kg
2	Rozměry	440 x 442 x 370 mm	786 x 320 x 272 mm	909 x 220 x 416 mm
3	Složitost konstrukce a údržba	Složitější	Jednodušší	Složitější
4	Výrobní a provozní náklady	7 750 Kč	5 300 Kč	8 200 Kč
5	Připojení směrem k robotu	Omezení rotace koncového článku	Neomezuje	Omezení rotace koncového článku
6	Flexibilita vstupních podmínek	Při zdeformované přední stěně nemusí být krabice přitažena.	Flexibilní – přísavky sevrou i dvě zdeformované stěny krabice.	Při zdeformované přední stěně nemusí být krabice přitažena.

Tabulka 20: Přehled navržených variant

#	Kritérium	Varianta A	Varianta B	Varianta C
1	Hmotnost	4	6	5
2	Rozměry	4	3	4
3	Složitost konstrukce a údržba	5	6	4
4	Výrobní a provozní náklady	4	5	4
5	Připojení směrem k robotu	4	5	3
6	Flexibilita vstupních podmínek	5	6	5

Tabulka 21: Hodnocení navržených variant – Autor

#	Kritérium	Varianta A	Varianta B	Varianta C
1	Hmotnost	3	6	4
2	Rozměry	5	4	3
3	Složitost konstrukce a údržba	4	5	3
4	Výrobní a provozní náklady	4	5	3
5	Připojení směrem k robotu	4	5	4
6	Flexibilita vstupních podmínek	4	6	4

Tabulka 22: Hodnocení navržených variant – Oponent č. 1

#	Kritérium	Varianta A	Varianta B	Varianta C
1	Hmotnost	3	6	4
2	Rozměry	6	4	3
3	Složitost konstrukce a údržba	5	6	5
4	Výrobní a provozní náklady	4	6	4
5	Připojení směrem k robotu	4	6	4
6	Flexibilita vstupních podmínek	5	6	5

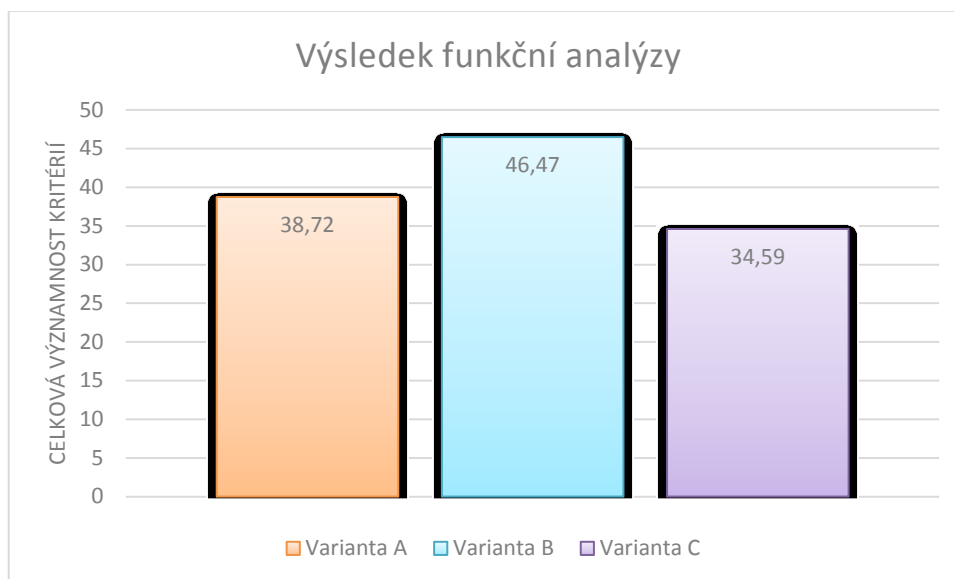
Tabulka 23: Hodnocení navržených variant – Oponent č. 2

Vážené indexy pro jednotlivá kritéria daných variant byly vypočítány jako součin bodového hodnocení varianty a váhy významnosti kritéria. Byly vypočítány pro všechny varianty dle dílčích hodnocení autora a obou oponentů. Dílčí výsledné vážené indexy hodnocení autora a obou oponentů byly sjednoceny aritmetickým průměrem. Výsledky aritmetických průměrů vážených indexů pro vybraná kritéria a varianty jsou uvedeny níže

v tabulce č. 24. Na základě součtu vážených indexů pro navržené varianty byla vybrána optimální varianta.

#	Kritérium	Varianta A	Varianta B	Varianta C
1	Hmotnost	5,16	9,30	7,75
2	Rozměry	7,65	4,08	5,44
3	Složitost konstrukce a údržba	6,47	9,84	6,56
4	Výrobní a provozní náklady	6,31	9,10	7,28
5	Připojení směrem k robotu	5,33	5,45	3,27
6	Flexibilita vstupních podmínek	6,72	8,70	7,25
		Σ38,73	Σ46,47	Σ34,59

Tabulka 24: Určení vážených indexů navržených variant a jejich celkové součty hodnocení.



Obrázek 36: Výsledek funkční analýzy

Z výsledků funkční analýzy vyplývá, že navržená varianta B nejlépe splňuje vybraná kritéria pro hodnocení.

6. Výběr robotu

Hlavními kritérii pro výběr robota jsou jeho nosnost, celková hmotnost, rozměry a manipulační prostor. Potřebná nosnost robota odpovídá cca 65 kg, tzn. součtu hmotnosti krabice 35 kg a hmotnosti efektoru cca 30 kg. Celkové rozměry a manipulační prostor robota musí být dostačující pro pohyb a manipulaci robota v kontejneru, tj. (výška) 2,385 x (šířka) 3,110 m. Hmotnost robota je zásadní pro návrh podvozku a pro pohyb robota po délce kontejneru.

6.1. Kawasaki RS080N

Průmyslový robot Kawasaki RS080N (obrázek č. 37) se jmenovitým zatížením 80 kg je používám mimo jiné pro manipulaci s materiálem, jeho skládání a paletizaci nebo svařování. Základní parametry robota jsou uvedeny níže v tabulce č. 25. [23]



Obrázek 37: Robot Kawasaki RS080N [23]

Nosnost	80 kg
Max. dosah horizontální	2 100 mm
Max. dosah vertikální	3 967 mm
Počet ovladatelných os	6
Přesnost opakovatelného nastavení polohy (ISO 9283)	$\pm 0,07$ mm
Hmotnost	555 kg
Okolní teplota	0 až +45 °C
Krytí ramene a zápěstí	IP67

Tabulka 25: Parametry robotu Kawasaki RS080N [23]

6.2. Robot Yaskawa MOTOMAN MH80II

Robot Yaskawa je šestiosý robot zobrazený na obrázku č. 38, který je vhodný pro manipulaci, obsluhu strojů, paletizaci a odebírání materiálu. Nosnost robotu je 80 kg a jeho další parametry jsou uvedeny v tabulce č. 26. [24]



Obrázek 38 Robot Yaskawa Motoman MH80II [24]

Nosnost	80 kg
Max. dosah horizontální	2 061 mm
Max. dosah vertikální	3 570 mm
Počet ovladatelných os	6
Přesnost opakovatelného nastavení polohy (ISO 9283)	±0,07 mm
Hmotnost	555 kg
Okolní teplota	0 až +45 °C
Řídicí systém	DX200 / MLX300
Krytí zápěstí	IP67
Montážní poloha	Podlaha

Tabulka 26: Parametry robotu Yaskawa Motoman MH80II [24]

6.3. Robot Fanuc-M-710iC/70

Robot Fanuc M-710iC/70 je univerzální šestiosý robot (obrázek č. 39), který je díky standardní ochraně zápěstí schopen pracovat i v mokřem a prašném prostředí. Parametry robota jsou uvedeny níže v tabulce č. 39. [21]



Obrázek 39: Robot Fanuc-M-710iC/70 [21]

Nosnost	70 kg
Max. dosah	2 050 mm
Počet ovladatelných os	6
Přesnost opakovatelného nastavení polohy (ISO 9283)	0,04
Hmotnost	560 kg (bez kontroléru)
Okolní teplota	0°C až +45 °C
Řídicí systém	R30iB
Krytí zápěstí	IP67
Montážní poloha	Podlaha, vzhůru nohama

Tabulka 27: Parametry robota Fanuc M-710iC/70 [21]

6.4. Srovnání

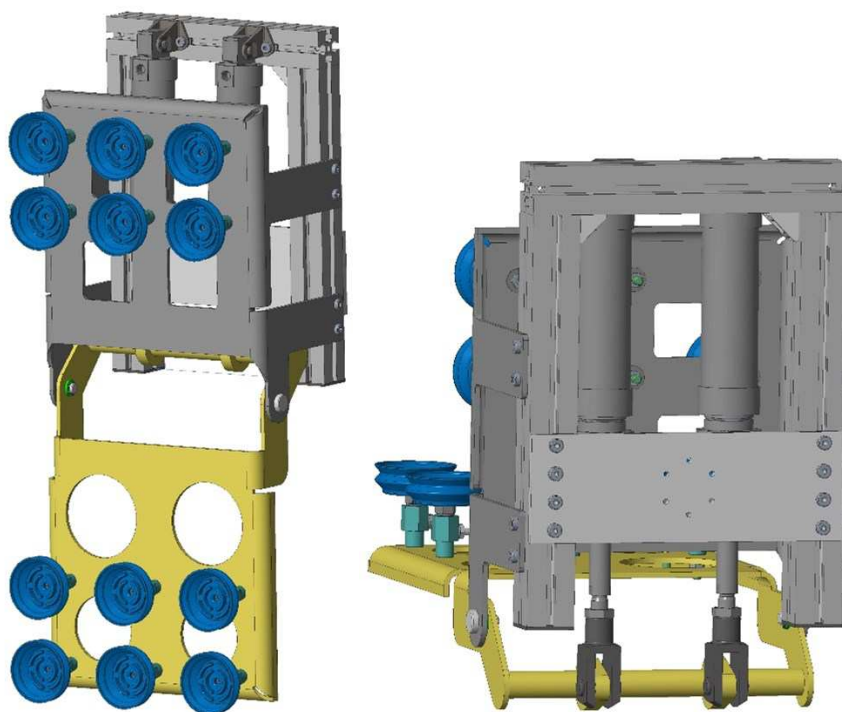
Na základě srovnání vybraných tří robotů v tabulce č. 28 je zřejmé, že robot Kawasaki RS080N je vhodnou variantou z navržených robotů. Výhodou vybraného robota je jeho nízká výška a velký dosah jak v horizontální, tak i ve vertikální rovině.

#	Kritérium	Kawasaki RS080N		Yaskawa MH80II		Fanuc M – 710iC/70	
1	Nosnost	80 kg	6	80 kg	6	70 kg	5
2	Výška robota	1 696,50 mm	6	1 807,00 mm	4	1 721,00 mm	5
3	Max. dosah	2 100,00 mm* 3 967,00 mm**	6	2 061,00 mm* 3 570,00 mm**	5	2 050,00 mm	4
4	Přesnost	±0,07 mm	4	±0,07 mm	4	±0,04 mm	6
5	Hmotnost	555 kg	6	555 kg	6	560 kg	5

Tabulka 28: Přehled navržených variant a jejich hodnocení / *horizontální, **vertikální

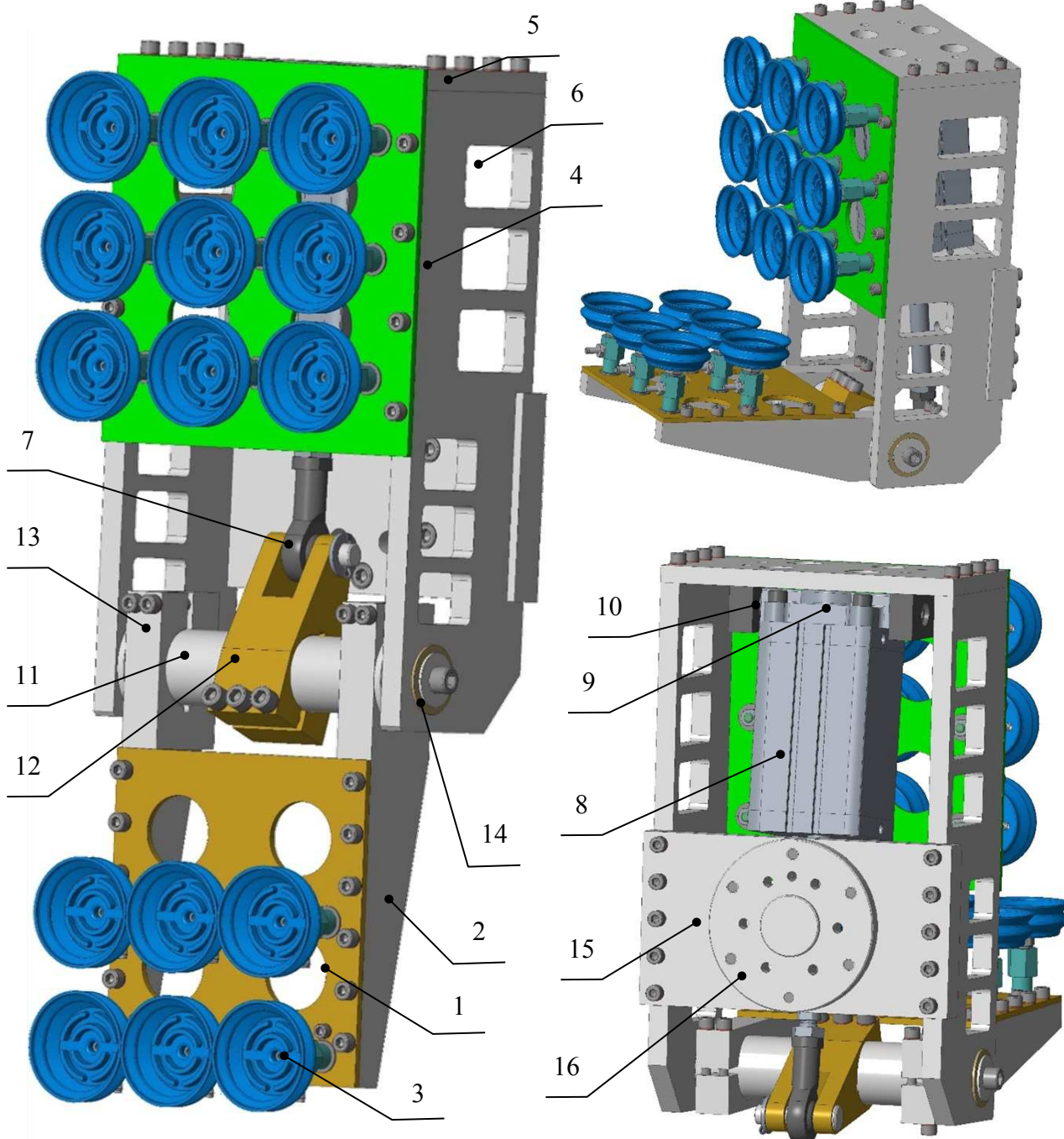
7. Rozpracování optimální varianty efektoru

Na obrázku č. 40 níže je zobrazen výchozí stav pro rozpracování optimální varianty.



Obrázek 40 Výchozí stav pro rozpracování optimální varianty B

Na obrázku č. 41 níže je zobrazena rozpracovaná optimální varianta efektoru. Maximální rozměry efektoru v milimetrech jsou 651 x 245 x 282. Hmotnost efektoru dle programu Creo Parametric odpovídá hodnotě 39,81 kg.



Obrázek 41: Rozpracovaná optimální varianta

1 – sklopná čelist; 2 – nosník sklopné čelisti; 3 – mechové přísavky Festo; 4 – bočnice rámu; 5 – horní deska rámu; 6 – odlehčení rámu; 7 – oko pneumatického pohonu Festo; 8 – pneumatický pohon Festo; 9 – kyvné upevnění válce Festo; 10 – ložiskový díl Festo; 11 – dutá hřídel s návarky; 12 – svěrný spoj; 13 – svěrný spoj nosníku; 14 – kluzné pouzdro Igus; 15 – deska interface; 16 – mezikus interface

7.1. Návrh vakuových přísavek

Pro odebrání krabice o hmotnosti 35 kg byly navrženy vakuové přísavky od společnosti Festo. Dle výrobce byla vypočítána přídržná síla dle polohy přísavek. Důvodem je tvarová deformace krabic, která může způsobit nedokonalé přísátí přísavek. Při výpočtu byly použity tyto parametry: [26]

$m_k = 35 \text{ kg}$	Hmotnost krabice
$g = 9,81 \text{ m/s}^2$	Akcelrace v důsledku gravitace
$a = 0,675 \text{ m/s}^2$	Akcelrace zařízení
$\mu = 0,7$	Hodnota tření
$S = 2,5$	Koeficient bezpečnosti, alespoň 1,5 u přímočarých pohybů

Pro vodorovné přísavky se jedná o nejpříznivější stav z hlediska výpočtu. Přísavky odebírají krabici za horní stěnu a mírně ji nadzvednou před přesunutím nad dopravníkový pás. Na sklopné čelisti bylo navrženo 6 přísavek. Celková přídržná síla na jednu přísavku F_{Hv1} (7) byla získána dělením celkové přídržné síly F_{Hv} počtem přísavek (6). [26]



Obrázek 42: Vodorovná přísavka [26]

$$F_{Hv} = m \cdot (g + a) \cdot S \quad (6)$$

$$F_{Hv} = 35 \cdot (9,81 + 0,675) \cdot 2,5$$

$$F_{Hv} = 917,6 \text{ N}$$

$$F_{Hv1} = \frac{F_{Hv}}{6} = \frac{917,6}{6} = 152,9 \text{ N} \quad (7)$$

Pro svislé přísavky se jedná naopak o nejméně příznivý stav. Při výpočtu je zohledněno tření μ . Přísavky uchopí krabici za přední stěnu a povytahují krabici dopředu. Poté se přidají přísavky sklopné čelisti a uchopí krabici za spodní stěnu. Tento případ nastává pouze při odebrání krabic bezprostředně pod stropem kontejneru. Na rámu bylo navrženo 9 přísavek. Celková přídržná síla F_{Hs1} (9) na jednu přísavku byla získána dělením celkové přídržné síly F_{Hs} počtem přísavek (8). [26]



Obrázek 43: Svislá přísavka [26]

$$F_{Hs} = \frac{m}{\mu} \cdot (g + a) \cdot S \quad (6)$$

(8)

$$F_{Hs} = \frac{35}{0,7} \cdot (9,81 + 0,675) \cdot 2,5$$

$$F_{Hs} = 1310,9 \text{ N}$$

$$F_{Hs1} = \frac{F_{Hs}}{9} = \frac{1310,9}{9} = 145,7 \text{ N} \quad (9)$$

Dle katalogu společnosti Festo byly na základě vypočítaných přídržných sil navrženy přísavky VASB-75-1/4-PUR-B (obrázek č. 44) pro vodorovnou polohu přísavek na sklopnou čelist i pro svislou polohu přísavek na rámu efektoru. Byly zvoleny přísavky se skládaným tvarem 1,5 měchu z důvodu možných deformací odebíraných krabic. Pro přísavky byl zvolen materiál polyuretan, který je vhodný pro hladké i drsné povrchy a je velmi odolný proti opotřebení. Další parametry přísavky jsou uvedeny v tabulce č. 29.

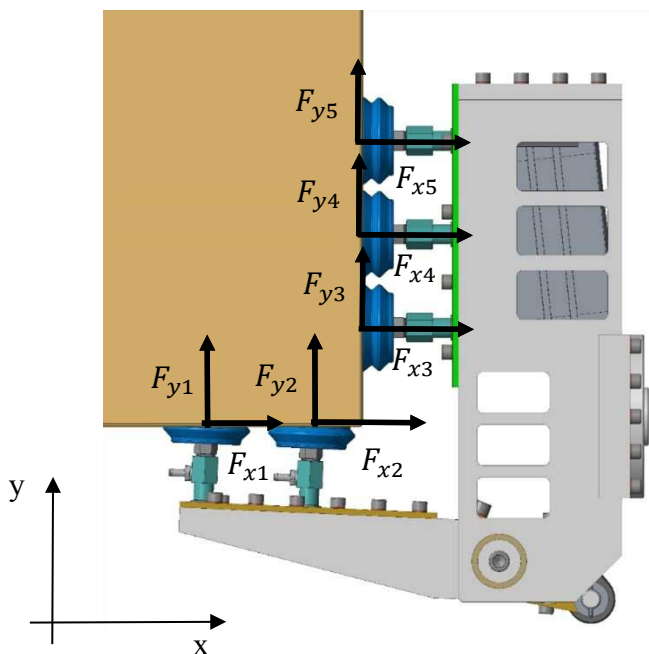


Obrázek 44: Vakuová přísavka VASB-75-1/4-PUR-B [30]

Vakuová přísavka VASB-75-1/4-PUR-B	
Průměr přísavky	75,0 mm
Výškové vyrovnaní přísavky	15,5 mm
Provozní tlak	-0,95 až 0 bar
Jmenovitý provozní tlak	-0,7 bar
Okolní teplota	-20 °C až +60 °C
Přídržná síla při jmenovitém provozním tlaku	250 N
Hmotnost	90 g
Materiál přísavky	Polyuretan (PUR)
Připojení vakua	G 1/4

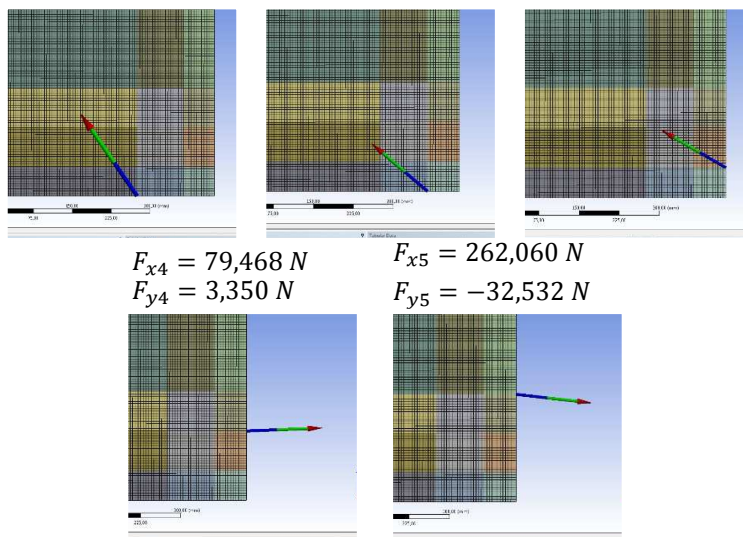
Tabulka 29: Parametry vakuové přísavky VASB-75-1/4-PUR-B Festo [30]

V programu Ansys bylo simulováno zatížení přísavek krabicí. Přísavky sklopné čelisti i rámu byly v rámci simulace zatěžovány současně. Výsledná hodnota každé síly byla programem automaticky rozložena do os „x“ a „y“. Schéma sil je znázorněno na obrázku č. 45 níže. Měření sil bylo provedeno vždy pro danou řadu přísavek. Síla na jednu přísavku je tedy vždy 1/3 hodnoty. Výsledné síly simulace jsou znázorněny na obrázku č. 46.



Obrázek 45: Schéma sil působících na řady přísavek

$$\begin{array}{lll} F_{x1} = -187,470 \text{ N} & F_{x2} = -114,780 \text{ N} & F_{x3} = -39,275 \text{ N} \\ F_{y1} = 285,410 \text{ N} & F_{y2} = 104,430 \text{ N} & F_{y3} = 24,344 \text{ N} \end{array}$$



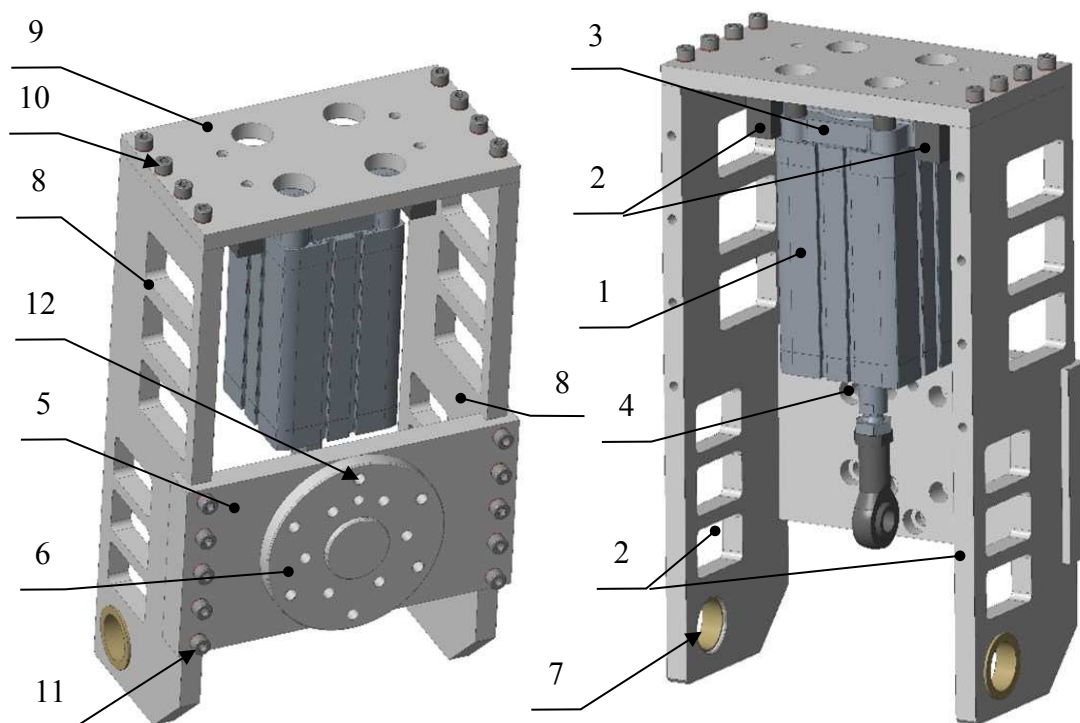
Obrázek 46: Výsledky simulace sil na řady přísavek

7.2. Rám efektoru a návrh pohonu

Po rozpracování optimální varianty byl rám z hliníkových profilů nahrazen šroubovaným rámem z ocelových desek. Důvodem byla vyšší únosnost dynamického zatížení i přes jeho vyšší hmotnost. Pro snížení hmotnosti byl rám odlehčen podélnými vyfrézovanými otvory po jeho bočních stranách. Dvě boční stěny a horní deska rámu jsou sešroubovány šrouby M8 (DIN 912) a podložkami Schnorr VS 8.

Střed otáčení čelisti byl přesunut z původního výpalku čelisti do rámu. Došlo tím ke zmenšení vzdálenosti těžiště čelisti od středu otáčení a současně ke zpevnění okolí středu otáčení.


Na základě vybraného robotu byl vytvořen interface, který se skládá z desky a mezikusu. Deska tvarově dosedá do rámu, je přišroubovaná po stranách šrouby M8 (DIN 912) a podložkami Schnorr VS 8. K desce je přišroubován šrouby M10 (DIN 912) s podložkami Schnorr VS 10 mezikus kruhového tvaru s dírami pro šrouby a závity pro připojení k robotu.



Obrázek 47: Rám efektoru

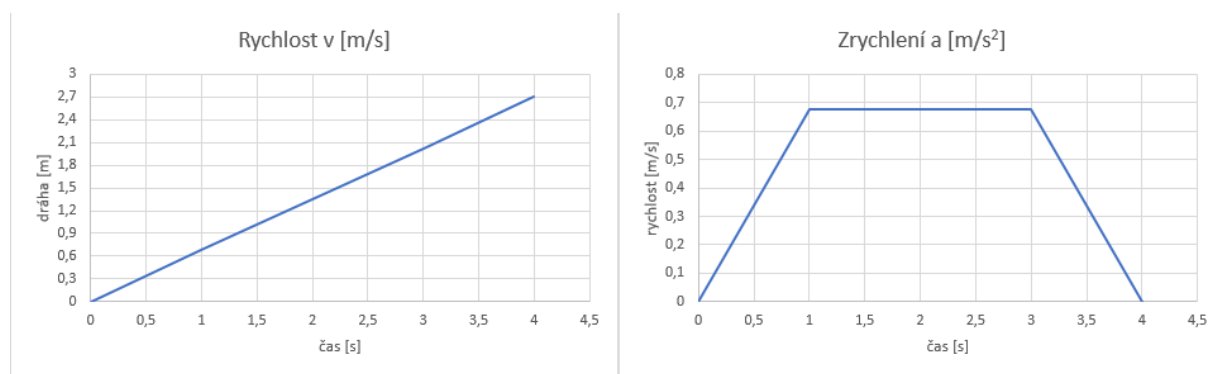
1 – pneumatický válec; 2 – ložiskový díl; 3 – kyvné upevnění válce; 4 – oko pístnice; 5 – deska; 6 – mezikus; 7 – střed otáčení s kluzným pouzdem; 8 – boční stěna rámu; 9 – horní deska rámu; 10 – M8x30 DIN 912, Schnorr VS 8; 11 – M8x40 DIN 912, Schnorr VS 8; 12 – M10x20 DIN 912, Schnorr VS 10

Do rámu byla nalisována samomazná kluzná pouzdra od společnosti Igus pro usnadnění rotace čelisti. Parametry kluzného pouzdra jsou uvedeny v následující tabulce č. 30.

Kluzné pouzdro spol. IGUS	J3FM-3539-16
	 [33]
Teplota okolí	-50 °C až +90 °C
Maximální rychlost rotace	3,0 m/s
Koeficient tření pro ocel	0,06 – 0,20 μ
Průměr hřídele	35 mm
Délka kluzného pouzdra	16 mm

Tabulka 30: Parametry kluzného pouzdra J3FM-3539-16 [33]

Robot se bude pohybovat pouze vodorovným nebo svislým směrem z důvodu bezpečnosti. Při šikmém pohybu by mohlo dojít k upuštění krabice vlivem deformací. Nejhorší situace tak nastává při pohybu z vrchu dolů při pohybu efektoru s krabicí do pozice nad dopravníkem. Z tohoto důvodu bylo ke gravitačnímu zrychlení přičteno také zrychlení robotu. Zrychlení robotu bylo určeno na základě časové analýzy pro danou pozici (viz. Kapitola 1.2 a tabulka č. 5)

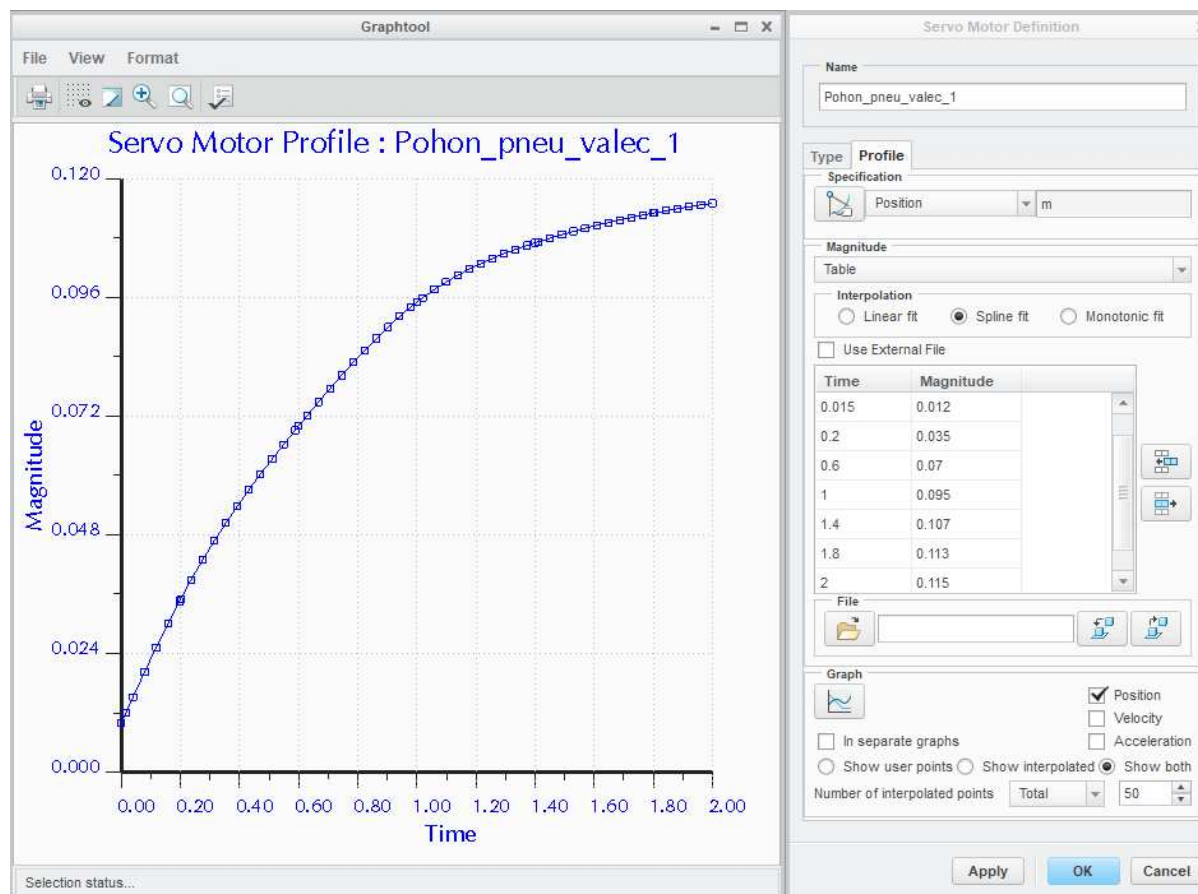


Obrázek 48: Rychlost a zrychlení na základě časové analýzy

Efektor s odebranou krabicí urazí dráhu 2,7 m za dobu 4 s. Celková rychlost tak odpovídá 0,675 m/s. Pro zrychlený / zpomalený pohyb byla zvolena 1/4 dráhy, resp. 1/4 celkového času.

Zrychlení, resp. zpomalení, tedy odpovídá hodnotě $0,675 \text{ m/s}^2$. Grafické znázornění je na obrázku č. 48 výše.

Pro zjištění potřebné síly pohonu byla provedena dynamická analýza v programu Creo Parametric. Na následujícím obrázku je znázorněno nastavení pohonu. Pro uvedené časy byl nastaven výstup pístnice. Celkový zdvih pohonu je 115 mm. Průběh nastavení výsuvu pístnice v závislosti na čase je zobrazen níže na obrázku č. 49. Délka analýzy byla nastavena na 2 s.

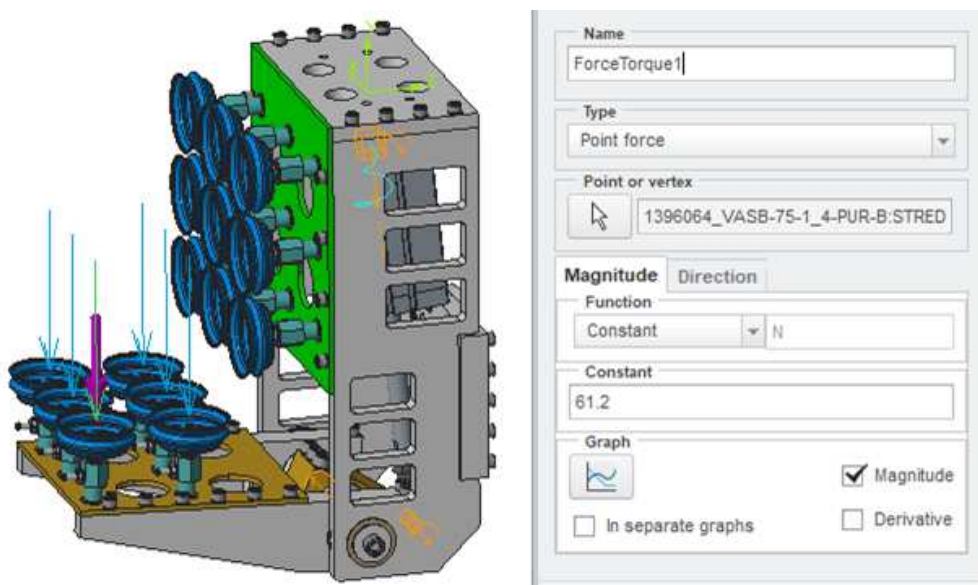


Obrázek 49: Nastavení časového průběhu vysouvání pístnice pohonu

Jelikož každá krabice může být deformovaná jiným způsobem, s každou krabicí se mění vstupní podmínky pro analýzu. Z tohoto důvodu byly síly nastaveny na základě nejhorších podmínek. Nejhorší podmínky definuje hmotnost krabice $m = 35 \text{ kg}$, působící kolmo v místě přísavek. Síla F_{kr} (10) vyvolaná touto hmotností byla rovnoměrně rozložena mezi 6 navržených přísavek (11). Pro výčet bylo použito také zrychlení efektoru $a = 0,675 \text{ m/s}^2$, které působí na krabici při pohybu. Nastavení sil pro analýzu je zobrazeno na obrázku č. 50.

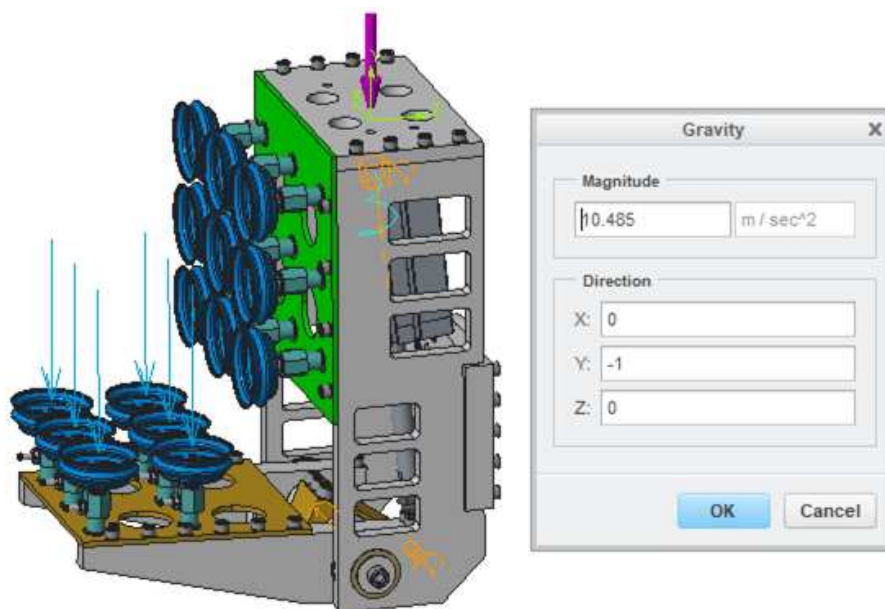
$$F_{kr} = m \cdot (g + a) = 35 \cdot (9,81 + 0,675) = 366,98 \text{ N} \quad (10)$$

$$F_{1_{kr}} = \frac{F_{kr}}{6} = \frac{366,98}{6} = 61,2 \text{ N} \quad (11)$$



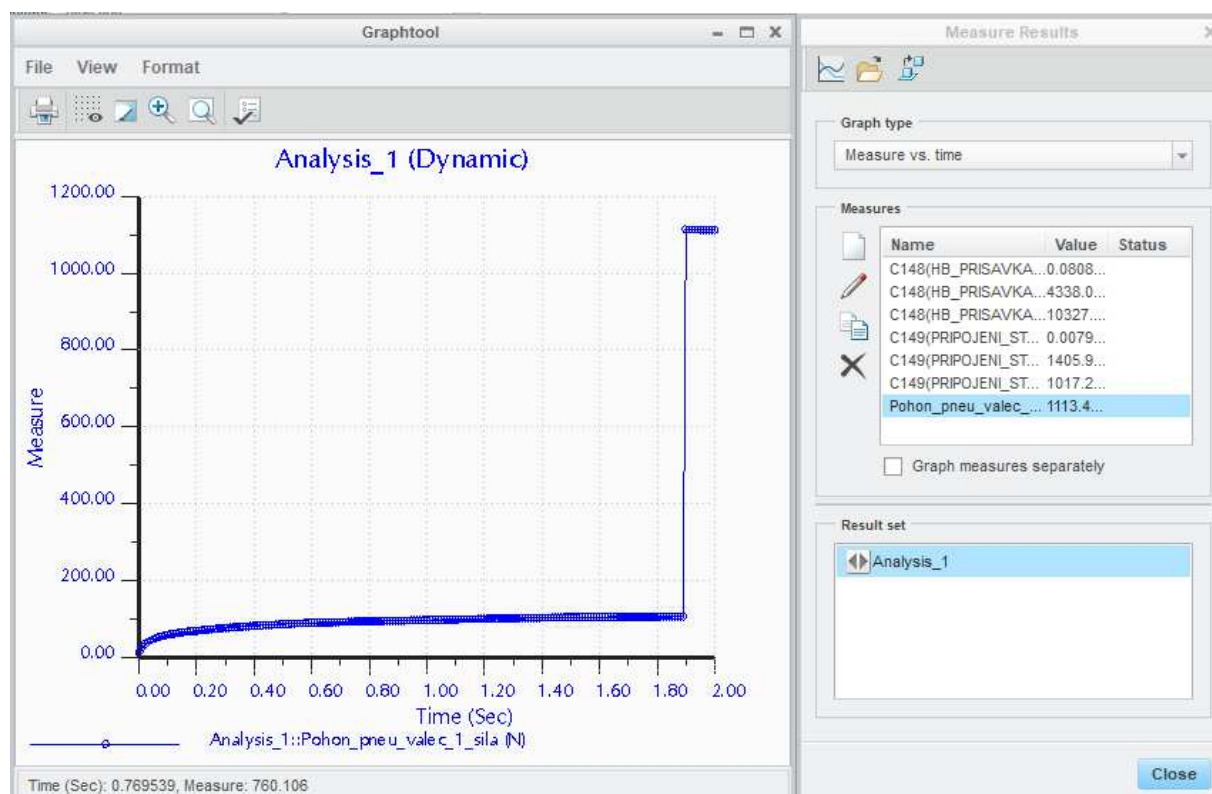
Obrázek 50: Nastavení sil pro analýzu

Zrychlení „ a “ bylo přičteno ke gravitační konstantě „ g “, působící na konstrukci efektoru při pohybu svle dolů s krabicí nad dopravník. Výsledná hodnota zrychlení je tedy $10,485 \text{ m/s}^2$ a působí ve směru osy y . Nastavení gravitace pro analýzu je zobrazeno na obrázku č. 51.



Obrázek 51: Nastavení zrychlení pro analýzu

Výsledek analýzy byl zjištěn pomocí funkce „measure“, která byla nastavena do vazby pneumatického pohonu. Při analýze bylo nastaveno po celou dobu výpočtu zatížení vlastní hmotností pohyblivé čelisti, v čase 1,9 s bylo přidáno zatížení krabice. Tento průběh zhruba odpovídá reálnému stavu, kdy nejprve je pohyblivá čelist sklápěna. Teprve po sklopení čelisti přísavky uchopí krabici a čelist s pohonem jsou zatíženy krabicí. Tento průběh je zřejmý i na grafickém znázornění výsledku analýzy na obrázku č. 52. Síla potřebná pro otáčení čelisti odpovídá přibližně 140 N. Síla potřebná pro udržení čelisti v požadované poloze při odebírání krabice je 1113,4 N.



Obrázek 52: Výsledek analýzy

Při návrhu byl zohledněn bezpečnostní koeficient $K = 2$. Byl vybrán kompaktní pneumatický válec ADN-80 s prodlouženou pístnicí od spol. Festo, jehož parametry jsou uvedeny v následující tabulce č. 31. Prodloužená pístnice umožnila zmenšit poloměr otáčení oka pístnice kolem osy hřídele a tím zmenšit šířku rámu. Na obrázku č. 53 je znázorněn typ pohonu ADN od společnosti Festo.



Obrázek 53: Typ pohonu ADN společnosti Festo [32]

ADN-80-115-A-P-A-25K2	
Zdvih	115 mm
Průměr pístu	80 mm
Tlumení	Pružné tlumicí kroužky / desky na obou stranách
Montážní poloha	Libovolná
Provozní tlak	0,6–10 bar
Provozní režim	Dvojčinný
Okolní teplota	-40 °C až +120 °C
Teoretická síla při 6 barech, zpětný chod	2 827 N
Teoretická síla při 6 barech, dopředný chod	3 016 N
Základní hmotnost při zdvihu 0 mm	1 300 g
Pohybující se hmotnost při zdvihu 0 mm	400 g
Přírůstek hmotnosti na 10 mm zdvihu	79 g
Připojení pneumatiky	G 1/8

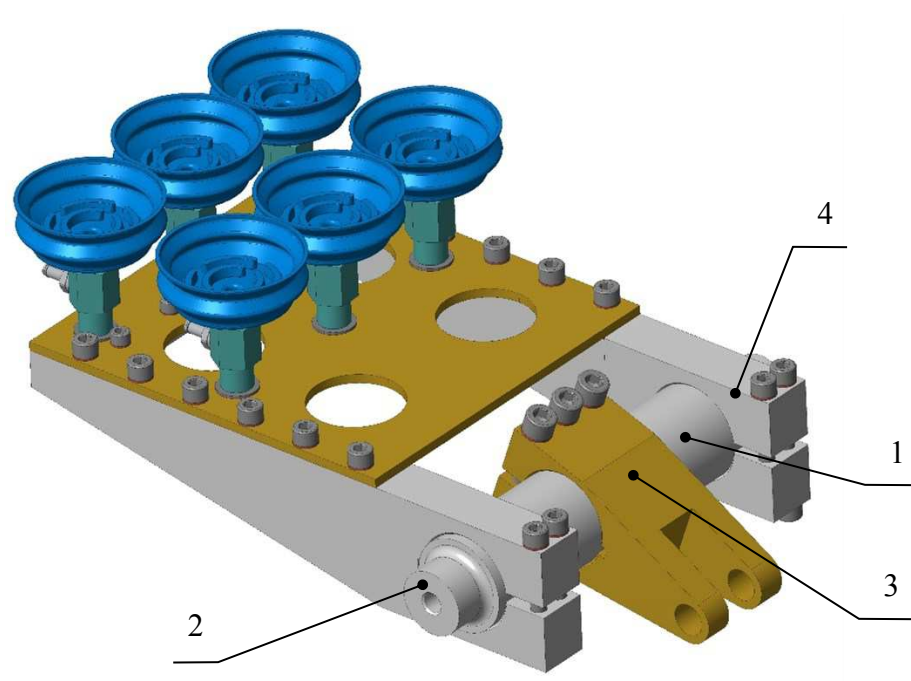
Tabulka 31: Parametry pohonu ADN-80-115-A-P-A-25K2 [32]

V rámci příslušenství pro daný válec byla vybrána kloubová hlavice pro pístnici SGS-M16x1,5 a pro upevnění válce kompaktní provedení kyvného upevnění ZNCF-80 a ložiskového dílu LNZG-63/80.

Regulace rychlosti vysouvání pístnice pneumatického pohonu bude zajištěna škrticím ventilem spol. Festo.

7.3. Návrh svěrného spoje a hřídele

Pro přenos krouticího momentu pohonu pro otočení čelisti o 90° a následné udržení čelisti v této poloze při odebírání krabice o hmotnosti 35 kg byl navržen svěrný spoj. Původní svařovaná konstrukce trubky a oka byla nahrazena svěrným spojem a dutou hřídelí s návarky z důvodu snížení nároků na přesnost a vyrobitelnost za cenu vyšší hmotnosti. Svěrný spoj umožňuje snadnější nastavení potřebného úhlu vůči trubce. Na daném úhlu závisí správné využití celkové délky výsuvu pístu pneumatického válce. Pro připojení sklopné čelisti k hřídeli byly taktéž navrženy svěrné spoje. Na obrázku č. 54 níže je zobrazena hřídel a svěrné spoje.



Obrázek 54: Dutá hřídel s návarky se svěrnými spoji v sestavě

1 – dutá hřídel; 2 – návarky duté hřídele; 3 – svěrný spoj pro pístnici pohonu; 4- svěrný spoj nosníku sklopné čelisti

Pomocí programu Mitcalc byl navržen svěrný spoj pro dutou hřídel s návarky a jednostranně rozříznutý náboj, který přenáší krouticí moment síly pohonu. Vstupními hodnotami byl krouticí moment 240 Nm, otáčky hřídele 7,5 ot/min. a nulová axiální síla. Jelikož se nejedná o plynulý rotační pohyb, byl zvolen charakter pohonu i typ zatížení pro lehké rázy. Nastavení výpočtu je zobrazeno na obrázku č. 55.

1.0 Společné vstupní údaje			
1.1	Jednotky výpočtu	SI Units (N, mm, kW...)	
1.2	Zatížení spoje		
1.3	Přenášený výkon	P	0,19 [kW]
1.4	Otáčky hřídele	n	7,5 [/min]
1.5	Krouticí moment	T	240,39 [Nm]
1.6	Axiální síla	F _A	0,0 [N]
1.7	Způsob zatížení, provozní parametry		
1.8	Charakter pohonu	Lehké rázy	
1.9	Typ zatížení	Lehké rázy	
1.10	Charakter provozu	Plně obousměrný	
1.11	Počet rozběhů v tisících	100	
1.12	Předběžný návrh průměru hřídele		
1.13	Vnitřní průměr dutého hřídele	d ₀	38,400 [mm]
1.14	Požadovaná bezpečnost		1,70
1.15	Minimální průměr hřídele	d _{min}	41,9 [mm]
1.16	Materiál hřídele (min. - max. pevnost v tahu)		
1.17	C ... Legovaná ocel (650 - 1400)	700	[MPa] <input checked="" type="checkbox"/>
1.18	Mez pevnosti v tahu	R _m	700,0 [MPa]
1.19	Mez kluzu	R _e	455,0 [MPa]
1.20	Dovolené napětí v tahu	σ _D	319,0 [MPa]
1.21	Dovolený tlak	p _D	100,0 [MPa]
1.22	Modul pružnosti v tahu	E	206000 [MPa]
1.23	Poissonovo číslo	ν	0,30
1.24	Součinitel tepelné roztažnosti	α _L	11,50 [10 ⁻⁶ /°C]
1.25	Materiál náboje (min. - max. pevnost v tahu)		
1.26	C ... Legovaná ocel (650 - 1400)	700	[MPa] <input checked="" type="checkbox"/>
1.27	Mez pevnosti v tahu	R _m	700,0 [MPa]
1.28	Mez kluzu	R _e	455,0 [MPa]
1.29	Dovolený tlak	p _D	100,0 [MPa]
1.30	Modul pružnosti v tahu	E	206000 [MPa]
1.31	Poissonovo číslo	ν	0,30
1.32	Součinitel tepelné roztažnosti	α _L	11,50 [10 ⁻⁶ /°C]

Obrázek 55: Vstupní hodnoty pro výpočet svěrného spoje pro pístnici pohonu

Výsledkem výpočtu je minimální průměr hřídele 41,8 mm. Pro zvolenou ocelovou dutou hřídel s vnějším průměrem 51,0 mm a vnitřním průměrem 38,4 mm je minimální funkční délka spoje 54,6 mm. Pro zvolenou funkční délku spoje 56,0 mm byly navrženy 2 šrouby M10. Součástí výsledku návrhu jsou vzdálenosti e_F a e_N . Výsledek výpočtu je zobrazen níže na obrázku č. 56.

B + Svěrný spoj			
7.0 <input checked="" type="checkbox"/> Návrh rozměrů spoje			
7.1	Parametry spoje		
7.2	Provedení náboje	B ... Jednostranně rozlíznutý náboj	
7.3	Čistota stykových ploch	Odmaštěné povrchy	
7.4	Součinitel tření	μ	0,11 0,11 <input checked="" type="checkbox"/>
7.5	Tvarový koeficient	K _F	0,75
7.6	Požadovaná bezpečnost proti prokluzu		1,70
7.7	Požadovaná pevnostní bezpečnost		1,70
7.8	Zatížení spoje		
7.9	Provozní koeficient	K _S	2,00 2,00 <input checked="" type="checkbox"/>
7.10	Provozní krouticí moment	T _S	471,10 [Nm]
7.11	Celkové provozní zatížení spoje	F _S	18 474,46 [N]
7.12	Rozměry spoje		
7.13	Vnitřní průměr dutého hřídele	d ₀	38,4 [mm]
7.14	Minimální průměr hřídele	d _{min}	41,8 [mm]
7.15	Průměr hřídele	d	51,000 22 [mm]
7.16	Min. funkční délka spoje	L _{min}	54,662 [mm]
7.17	Funkční délka spoje	L	56,000 56 [mm] <input type="checkbox"/>
7.18	Montážní předpětí, návrh spojovacího šroubu		
7.19	Sílová ramena	e _F / e _N	62,000 30,000 [mm]
7.20	Počet spojovacích šroubů	i	2
7.21	Dovolené montážní předpětí		29316,8 ~ 30034,4 [N]
7.22	Montážní předpětí	F ₀	29500,0 [N] <input checked="" type="checkbox"/>
7.23	Materiál spojovacího šroubu	R _e	793,0 SAE 7 [MPa]
7.24	Min. doporučená velikost závitů		M10

A

B

Obrázek 56: Výsledek výpočtu svěrného spoje pro pístnici pohonu

Oba ze svěrných spojů pro nosník sklopné čelisti a hřídel nesou poloviční krouticí moment, tj. 120 Nm. Další vstupní parametry zůstávají stejné. Nastavení výpočtu pro svěrný spoj nosníku sklopné čelisti je zobrazeno na obrázku č. 57:

Výpočet silových spojů hřídele s nábojem

i Výpočet: A = Chyba; B = OK

1.0 Společné vstupní údaje

1.1 Jednotky výpočtu SI Units (N, mm, kW...)

1.2 Zatížení spoje

1.3 Přenášený výkon P 0,09 [kW]

1.4 Otáčky hřídele n 7,5 [/min]

1.5 Krouticí moment T 120,07 [Nm]

1.6 Axiální síla F_A 0,0 [N]

1.7 Způsob zatížení, provozní parametry

1.8 Charakter pohonu Lehké rázy

1.9 Typ zatížení Lehké rázy

1.10 Charakter provozu Plně obousměrný

1.11 Počet rozběhů v tisících 100

1.12 Předběžný návrh průměru hřídele

1.13 Vnitřní průměr dutého hřídele d_0 38,400 [mm]

1.14 Požadovaná bezpečnost 1,70

1.15 Minimální průměr hřídele d_{min} 40,2 [mm]

1.16 Materiál hřídele (min. - max. pevnost v tahu)

1.17 C ... Legovaná ocel (650 - 1400) 700 [MPa] ☒

1.18 Mez pevnosti v tahu R_m 700,0 [MPa]

1.19 Mez kluzu R_e 455,0 [MPa]

1.20 Dovolené napětí v tahu σ_D 319,0 [MPa]

1.21 Dovolný tlak p_D 100,0 [MPa]

1.22 Modul pružnosti v tahu E 206000 [MPa]

1.23 Poissonovo číslo ν 0,30

1.24 Součinitel tepelné roztažnosti α 11,50 [$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$]

1.25 Materiál náboje (min. - max. pevnost v tahu)

1.26 C ... Legovaná ocel (650 - 1400) 700 [MPa] ☒

1.27 Mez pevnosti v tahu R_m 700,0 [MPa]

1.28 Mez kluzu R_e 455,0 [MPa]

1.29 Dovolný tlak p_D 100,0 [MPa]

1.30 Modul pružnosti v tahu E 206000 [MPa]

1.31 Poissonovo číslo ν 0,30

1.32 Součinitel tepelné roztažnosti α 11,50 [$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$]

Obrázek 57: Vstupní hodnoty pro výpočet svěrného spoje nosníku sklopné čelisti

Výsledkem výpočtu je minimální funkční délka spoje 27,86 mm. Pro zvolenou funkční délku spoje 28 mm byly navrženy 2 šrouby M8 a vzdálenosti e_F a e_N . Výsledky výpočtu jsou zobrazeny níže na obrázku č. 58.

B + Svěrný spoj

7.0 Návrh rozměrů spoje

7.1 Parametry spoje

7.2 Provedení náboje B ... Jednostranné rozříznutý náboj

7.3 Čistota stykových ploch Odstažené povrchy

7.4 Součinitel tření μ 0,11 0,11 ☒

7.5 Tvarový koeficient K_F 0,75

7.6 Požadovaná bezpečnost proti prokluzu 1,70

7.7 Požadovaná pevnostní bezpečnost 1,70

7.8 Zatížení spoje

7.9 Provozní koeficient K_S 2,00 2,00 ☒

7.10 Provozní krouticí moment T_S 240,13 [Nm]

7.11 Celkové provozní zatížení spoje F_S 9 416,98 [N]

7.12 Rozměry spoje

7.13 Vnitřní průměr dutého hřídele d_0 38,4 [mm]

7.14 Minimální průměr hřídele d_{min} 40,2 [mm]

7.15 Průměr hřídele d 51,000 22 [mm]

7.16 Min. funkční délka spoje L_{min} 27,863 [mm]

7.17 Funkční délka spoje L 28,000 28 [mm] ☐

7.18 Montážní předpětí, návrh spojovacího šroubu

7.19 Silová ramena e_F / e_N 62,000 30,000 [mm]

7.20 Počet spojovacích šroubů i 2

7.21 Dovolené montážní předpětí 14943,6 ~ 15017,2 [N]

7.22 Montážní předpětí F_0 15000,0 [N] ☒

7.23 Materiál spojovacího šroubu R_e 896,0 A490 [MPa]

7.24 Min. doporučená velikost závitu M8

A

B

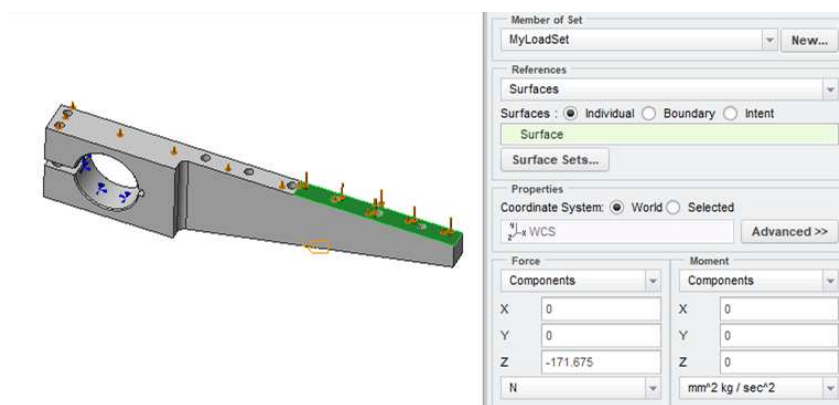
Obrázek 58: Výsledky výpočtu svěrného spoje nosníku sklopné čelisti

8. Simulace vybraného prvku

8.1. Průhyb nosníku se svěrným spojem

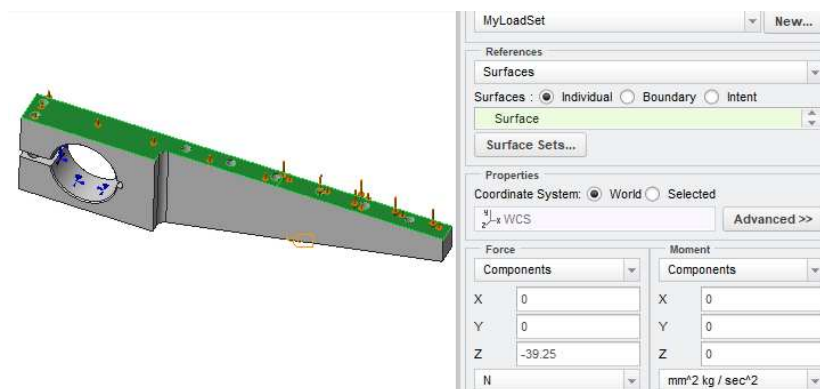
V programu Creo Simulate byl analyzován nosník pohyblivé čelisti. V sestavě čelisti jsou dva nosníky po stranách. Z tohoto důvodu bylo uvažováno poloviční zatížení na každý nosník.

V místě sevření hřídele pomocí svěrného spoje byla nastavena vazba „Displacement“ pro zamezení posuvů ve všech směrech. Vazba je zobrazena na obrázku níže spolu s nastavením zatížení 1/2 hmotnosti krabice, tj. 17,500 kg. Síla o velikosti 171,675 N působí pouze na daný region. Region odpovídá ploše krabice, kterou dosedá na přísavky. Nastavení zatížení je zobrazeno níže na obrázku č. 59.



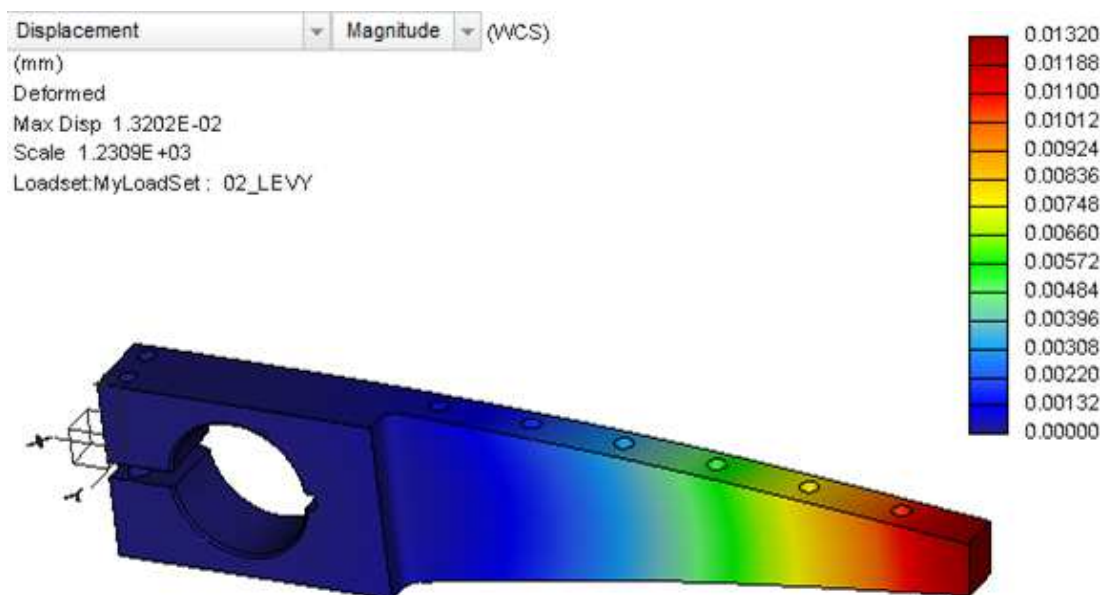
Obrázek 59: Zatížení nosníku 1/2 hmotnosti krabice

Na obrázku níže je zobrazeno zatížení celé plochy nosníku 1/2 hmotnosti konstrukce čelisti, tj. 3,735 kg. Síla o velikosti 39,250 N působí kolmo na čelist, tedy ve směru osy „z“. Nastavení zatížení je zobrazeno níže na obrázku č. 60.



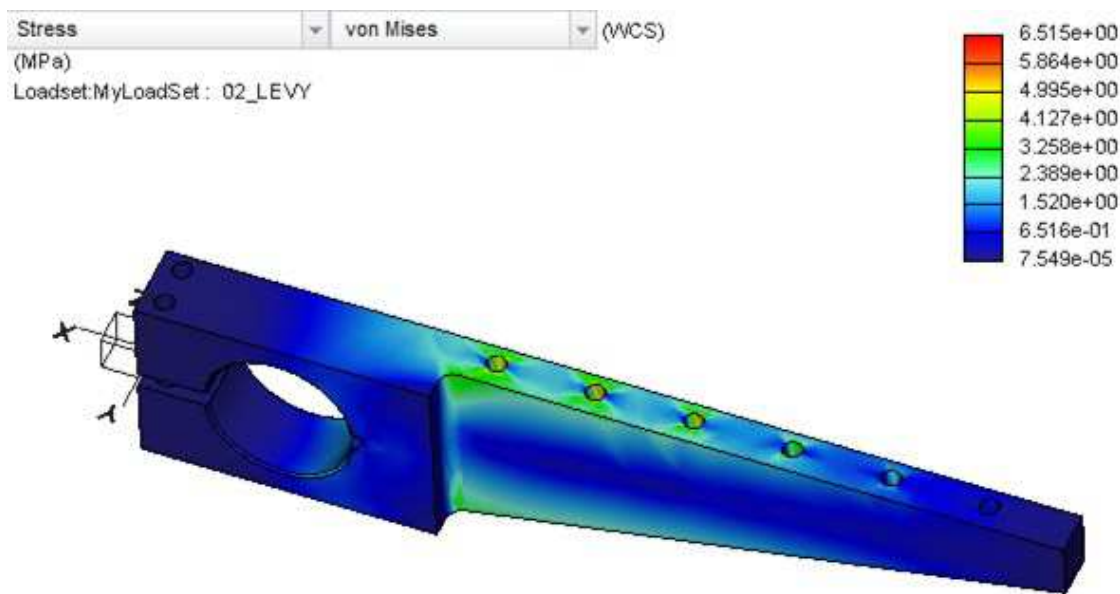
Obrázek 60: Zatížení nosníku 1/2 hmotnosti sklopné čelisti

Výsledkem simulace nosníku je maximální průhyb, zobrazený na obrázku č. 61, který dle zadaných parametrů odpovídá hodnotě 0,013 mm na konci nosníku. Vzhledem k rozměrům konstrukce efektoru lze hodnotu průhybu zhodnotit jako zanedbatelnou.



Obrázek 61: Výsledný průhyb nosníku

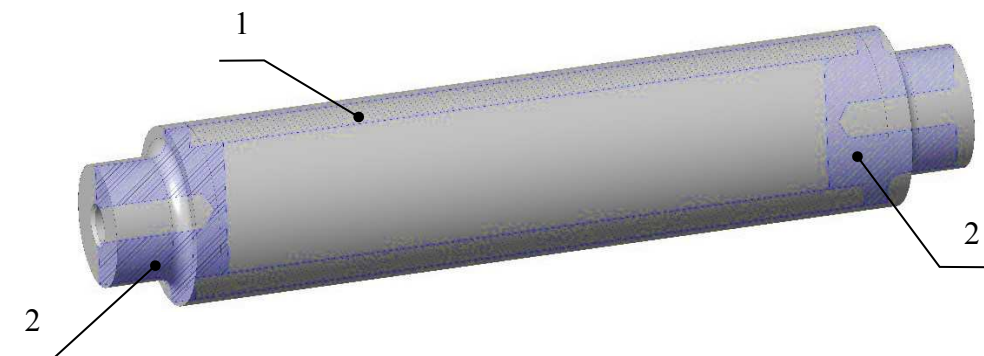
Spolu s výsledky průhybu bylo získáno maximální napětí dle hypotézy HMM. Hodnota maximálního napětí odpovídá 6,51 MPa v místě děr se závity pro připojení nosníků k desce sklopné čelisti. Výsledné napětí je zanedbatelné a je zobrazeno níže na obrázku č. 62.



Obrázek 62: Výsledné napětí nosníku dle hypotézy HMM

8.2. Simulace zatížení hřídele s návarky

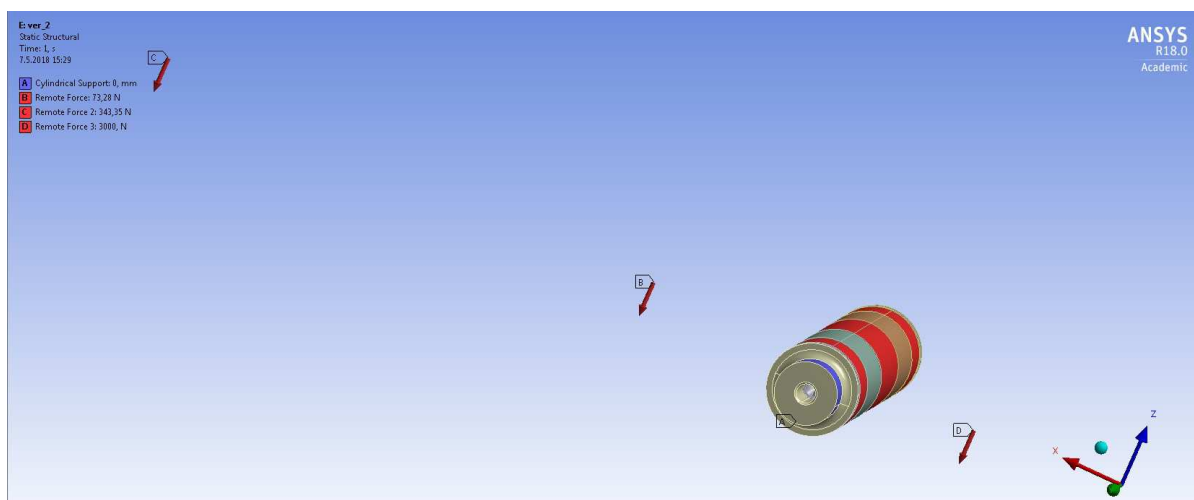
Na obrázku je zobrazen simulovaný 3D model hřídele s návarky. Hřídel je uložena na obou koncích v kluzných ložiscích. Uprostřed je spojena svěrným spojem s pístnicí pneumatického pohonu. Na stranách jsou svěrné spoje sklopné čelisti.



Obrázek 63: Simulovaná hřídel s návarky

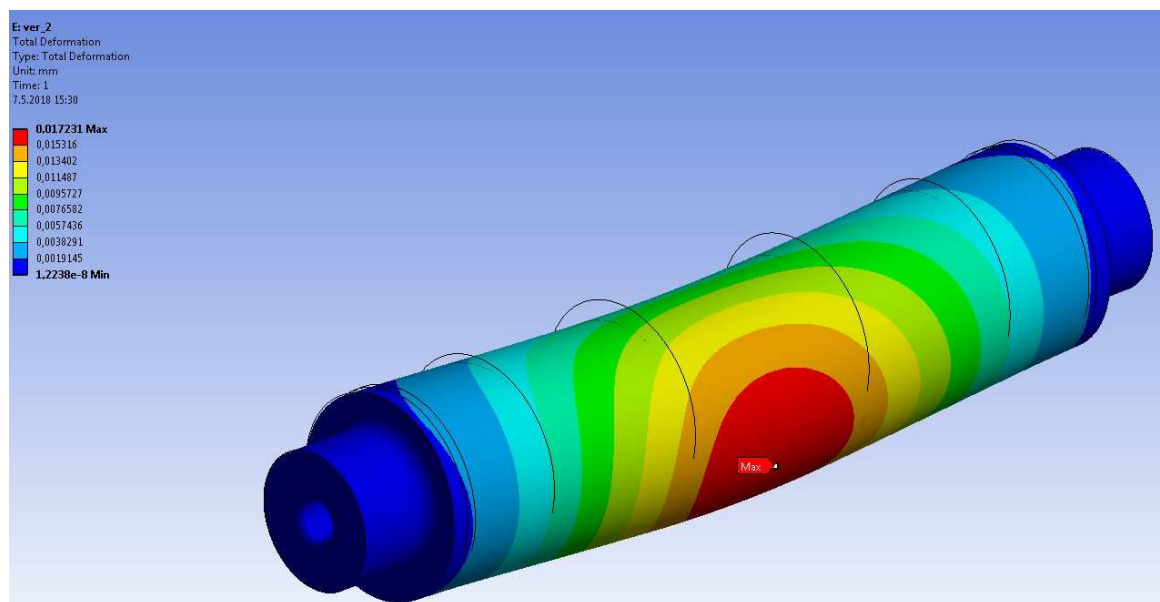
1 – dutá hřídel; 2 – návarek

Hřídel s návarky bude po svaření po celé délce obrobena a konce budou osoustruženy na průměr 35 mm. Z tohoto důvodu byla hřídel s návarky simulována jako jeden díl. Simulace prvku byla provedena v programu Ansys. Na obrázku č. 64 je zobrazeno nastavení sil pro simulaci v programu Ansys. Vazba „cylindrical support“ simuluje uložení v kluzných ložiscích a povoluje rotaci hřídele. Síla B znázorňuje hmotnost čelisti (tj. 7,47 kg) a je umístěna ve vzdálenosti těžiště čelisti od osy hřídele (tj. 115 mm). Síla C znázorňuje hmotnost krabice (tj. 35,00 kg) ve vzdálenosti těžiště krabice od osy hřídele (tj. 408 mm). Síla D znázorňuje sílu pneumatického pohonu v kolmé vzdálenosti osy pístnice a osy hřídele. Pro výpočet byla použita celková hmotnost krabice z důvodu simulování nejhorších podmínek pro zatížení hřídele.



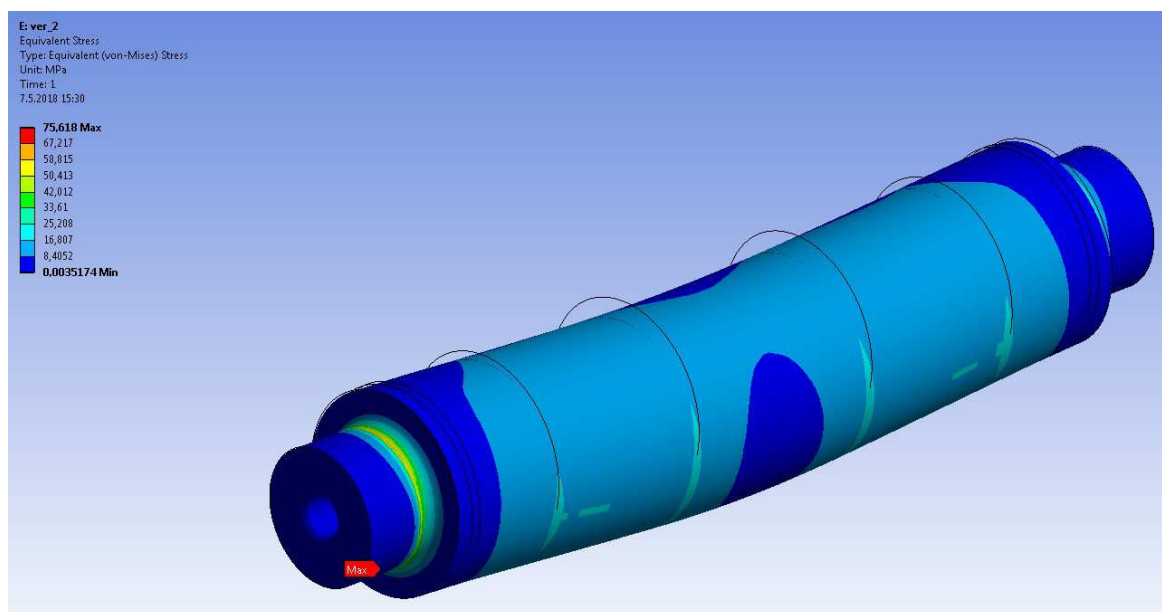
Obrázek 64: Nastavení simulace v programu Ansys

Výsledkem simulace je maximální průhyb hřídele, který při daném zatížení odpovídá hodnotě 0,017 mm ve středu hřídele. Výsledek je znázorněn na obrázku č. 65 níže.



Obrázek 65: Výsledný průhyb hřídele

Výsledkem analýzy je také maximální napětí 75,618 MPa, které je koncentrované v místě zaoblení přechodu průměrů. Výsledek je zobrazen na obrázku č. 66 níže. Materiálem pro hřídel s návarky je legovaná ocel 14 220 s mezí kluzu R_e o velikosti 440,000 MPa.



Obrázek 66: Výsledné maximální napětí hřídele s návarky

V místě zaoblení bude reálně koncentrováno napětí. Pro zhodnocení výsledného napětí z analýzy bylo dopočítáno napětí σ_c , které odpovídá mezi únavy.

„Mez únavy lze definovat jako největší napětí, které nevede k lomu ani po překonání smluvní hranice 10^7 cyklů (u oceli). Pro konstrukční oceli s mezí pevnosti $R_m = (500 \div 1500)$ MPa lze mez únavy hladkých těles odhadnout takto:

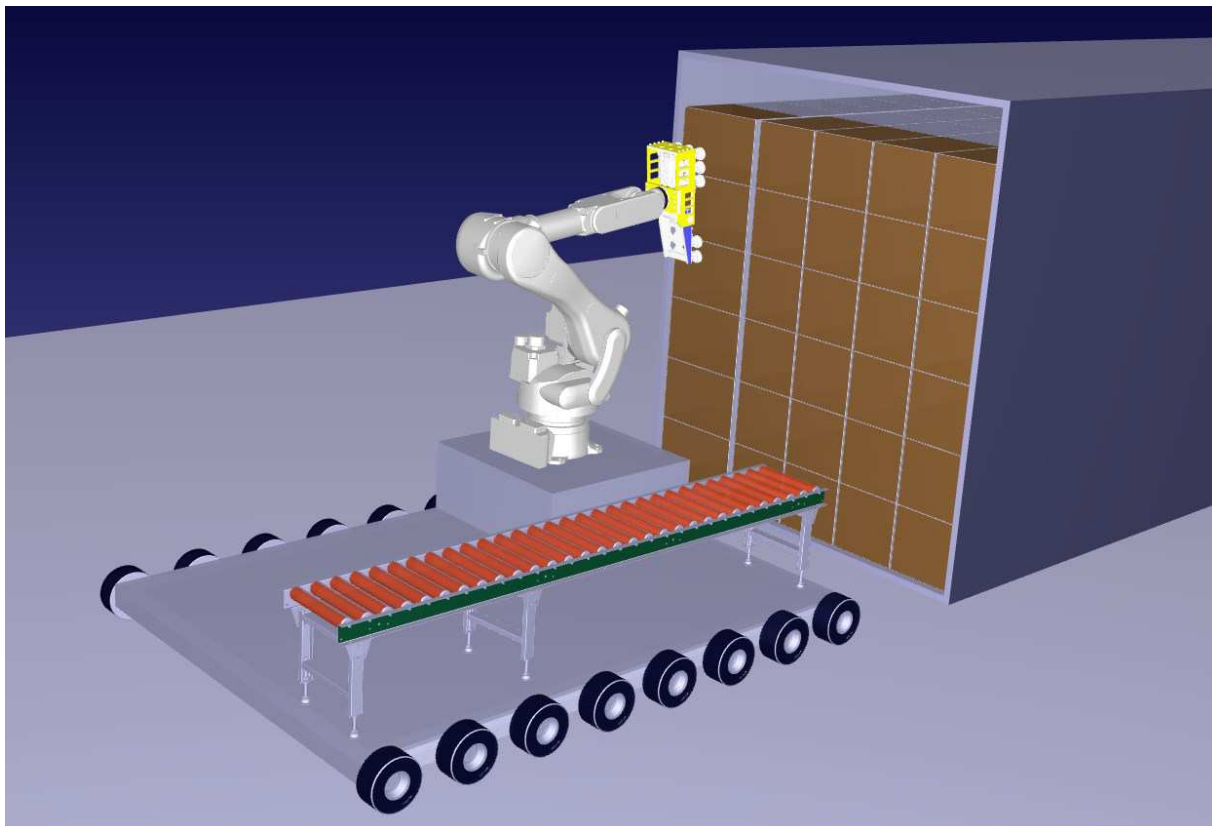
Ohyb za rotace: $\sigma_c = 0,36 \cdot R_m + 44.$ “ [25]

$$\sigma_c = 0,36 \cdot 700 + 44 = 296,000 \text{ MPa}$$

Mez pevnosti R_m pro zvolený materiál 14 220 odpovídá hodnotě 700 MPa. Napětí σ_c platí obecně pro ohyb za rotace. Po srovnání mezi únavy $\sigma_c = 296,000 \text{ MPa}$ a maximálního napětí o hodnotě 75,618 MPa z výsledku analýzy je zřejmé, že výsledné napětí není pro hřídel kritické.

9. Návrh pracoviště

Na obrázku č. 67 je zobrazen návrh pracoviště v programu RoboDK. Robot Kawasaki RS080N je umístěn na podvozku s koly spolu s válečkovým dopravníkem. Navržený efektor je připojen k robotu. Součástí pracoviště bude zařízení pro zpracování obrazu, které je zpracováváno v rámci vývoje katedry. Krabice budou na konci dopravníkového pásu odebírány obsluhou pomocí vysokozdvizného vozíku a dále ukládány.



Obrázek 67: Návrh pracoviště

10. Závěr

V první části diplomové práce byl popsán současný stav a rozbor zadání. Součástí rozboru byl předběžný návrh pracoviště a analýza časových možností robotu. V návaznosti na výše zmíněné byly vytvořeny předpoklady pro realizaci zadání, tj. časové možnosti a počet odebíraných krabic.

V druhé části práce byly navrženy konstrukční varianty efektoru. Pro každý návrh byl vytvořen 3D model, byly použity orientačně vybrané nakupované díly. Při návrhu variant byl kladen důraz na jejich nízkou hmotnost a malé rozměry a s tímto přímo spjatou jednoduchost konstrukce. Důvodem je fakt, že hmotnost efektoru přímo ovlivňuje nosnost robotu, který byl vybrán následně po výběru vhodné varianty. Z důvodu omezeného prostředí uvnitř kontejneru a nosnosti podvozku, na kterém bude robot umístěn, byla snaha vybrat co nejmenšího robota s dostatečným pracovním dosahem a nízkou hmotností.

Optimální variantou byla zvolena varianta B na základě funkční analýzy provedené autorem práce a dvěma oponenty. Varianta vyniká jednoduchostí, nízkou hmotností a malými rozměry oproti ostatním variantám. Dílčí prvky rozpracované vybrané varianty byly simulovány na základě dostupných informací v programu Creo Parametric a Ansys.

Krabice, které jsou odebírány, jsou často vlivem přepravy mechanicky poškozené. Nelze tak počítat s jednotnými vstupními parametry. Tento fakt značně omezoval množství dostupných informací pro návrh, výpočty i simulace. Konstrukce efektoru byla navržena za předpokladu nejhorších možných podmínek. Pro ověření dosažených výsledků a hodnot je tedy nutné model simulovat v reálných podmínkách.

11. Seznam použité literatury

- [1] *Wynright Robotic Arm* [online]. In: Youtube, 2014 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=832FTxHW4q4>
- [2] *Wynright Robotic Truck Unloader (RTU)* [online]. In: . Robotics Business Review, 2013 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: https://www.roboticsbusinessreview.com/supply-chain/wynright_robotic_truck_unloader_rtu/
- [3] *Robotic Truck Unloader (RTU)* [online]. In: . Wynright Corp. , 2013, s. 2 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://robotics.wynright.com/pdf/RTU.pdf>
- [4] *Robotic Container Unloader (RTU) - Standard* [online]. In: . Wynright, 2016, s. 2 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://robotics.wynright.com/pdf/RTL-U-Standard.pdf>
- [5] GREEN, Tom. Frito-Lay and Wynright Put Robots on the Docks. *Robotics Business Review* [online]. 2013 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: https://www.roboticsbusinessreview.com/supply-chain/frito_lay_and_wynright_put_robots_on_the_docks/
- [6] *Deutsche Post presents first ready-for-market parcel robot* [online]. In: . Deutsche Post DHL Group, 2009 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: http://www.dpdhl.com/en/media_relations/press_releases/2006/ready-for-market_parcel_robot.html
- [7] *A helping hand from ParcelRobot: System from Bremen unloads overseas containers* [online]. In: . Thyssenkrupp, 2009 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <https://www.thyssenkrupp.com/en/newsroom/press-releases/press-release-48130.html#>
- [8] *Deutsche Post DHL Parcel robot* [online]. In: Youtube, 2011 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=CsHfbdnyHAE>
- [9] *Parcel Robot PR 400 – 6 Axles Clamping Gripper with palletizer* [online]. In: Youtube, 2016 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=YcoPWKdegcw>

- [10] PRENESTI, Domenico, Augusto URRU, Wolfgang ECHELMEYER a Marco BONINI. *Towards the full automation of distribution centers: Challenges and Solutions Enabling Convenient Applications of Autonomous Systems for Low Standardized Logistic Processes* [online]. In: Advanced Logistics and Transport (ICALT), 2015 4th International Conference on, 2015, s. 52 [cit. 2017-11-20]. DOI: 10.1109/ICAAdLT.2015.7136589. ISBN 978-1-4799-8400-8. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7136589/>
- [11] *Parcel Robot PR 500 – 4 Axles Frontal Gripper* [online]. In: Youtube, 2016 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=0PBwmqTyCrg>
- [12] *Parcel Robot PR 500 – 4 Axles Frontal Gripper (focus on Performance)* [online]. In: Youtube, 2016 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=0PBwmqTyCrg>
- [13] *Practical innovation saves time and manpower* [online]. In: Copal Handling Systems. 2013 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://www.copal-development.com/news/content/introduction-intelligent-container-stripper-palletizer-c1/>
- [14] *Unloading cardboard boxes* [online]. In: Copal Handling Systems. [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://www.copal-development.com/applications/stripping-unloading/>
- [15] *Fast and efficient unloading of goods: Copal C2* [online]. In: Copal Handling Systems. [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://www.copal-development.com/producten/copal-c2/>
- [16] <http://www.copal-development.com/downloads/brochure-copal-c1.pdf>
- [17] *The best way to unload a container* [online]. In: Youtube, 2009 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=Mc-IC1yclgU>
- [18] *The PIQRI* [online]. TEUN BV [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://www.teun.com/en/concept-1/the-piqr-1/>
- [19] *TEUN B.V.* [online]. eBooks, 2009 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <https://mkb-mainports.hva.nl/eBooks/Paginas/teun.aspx>
- [20] *KUKA: KR QUANTEC pro* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty/kr-quantec-pro>

- [21] *FANUC: M-710iC/70* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z:
<https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/stránka-filtru-robotů/řada-m-710/m-710ic-70>
- [22] KUBÍČEK, Martin. *Nakloněná rovina: Bakalářská práce* [online]. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta - Katedra fyziky, 2010 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z:
https://theses.cz/id/6dhbc8/downloadPraceContent_adipIdno_15541
- [23] *Kawasaki Robotics: RS080N Robot* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z:
<https://robotics.kawasaki.com/en1/products/robots/small-medium-payloads/RS080N/>
- [24] *Yaskawa: MH80 II* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z:
http://www.motoman.cz/cs/produkty/roboty/product-view/?tx_catalogrobot_pi1%5Buid%5D=3323&cHash=502d1e07711e90ef5514e905f330f4b1
- [25] Vlastnosti a zkoušení materiálu. : *Přednáška č.8 - Únava materiálu* [online]. VŠB-TUO. 2013, s. 22 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z:
https://www.fs.vsb.cz/export/sites/fs/330/.content/files/VZM8_UnavaMaterialu.pdf
- [26] *Festo: Často kladené otázky - Vakuová technika* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: https://www.festo.com/cms/cs_cz/9830.htm
- [27] *Landefeld: Vacuum suction VAS, VASB* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z:
<https://www.landefeld.com/gruppe/cs/vacuum-suction-vas-vasb/FTO-173440>
- [28] *FESTO Festo DGC-K-32-1500-PPV-A-GK Cylinder Straight Drive* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://www.englishtaobao.net/product/548615847009/>
- [29] *Festo: Round cylinders DSNU/ESNU* [online]. In: . 1/2015, s. 49 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_engb/PDF/EN/DSNU-ROUND_EN.PDF
- [30] *Festo: Suction cups VAS/VASB* [online]. In: . 10/2017, s. 23 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: https://www.festo.com.cn/cat/en-gb_gb_gb/data/doc_ENGB/PDF/EN/VAS_EN.PDF
- [31] *Essentra components: Kuličkové dopravní jednotky EURO* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://www.essentracomponents.cz/mss/mss-pc.nsf/WebEngine?OpenAgent&cmd=category&category=MVED-9H3G7T-34210&catalog=MEX-CZ>

- [32] *Festo: Compact cylinders ADN/AEN, to ISO 21287* [online]. In: . 10/2017, s. 86 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/en-us_us/data/doc_enus/PDF/US/ADN_ENUS.PDF
- [33] *IGUS: iglidur® J3* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://www.igus.cz/product/81>

12. Přílohy

Výkresová dokumentace:

Sestavný výkres efektoru č. 000_1652018

Sestavný výkres rámu č. 040_1652018

Výrobní výkres bočnice rámu č. 042_1652018

Výrobní výkres nosníku č. 021_1652018

Přiložené CD obsahuje:

Výkresovou dokumentaci ve formátu .pdf a .dwg

3D model vybrané varianty v programu Creo Parametric 3.0 a formátu .step

Diplomová práce Tereza Fabrigerová.pdf

Katalogový list robotu Kawasaki RS080N